

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

JOSIELE DE LORENZI FONSECA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA ENCUNHAMENTO:
Aplicadas em Parede de Alvenaria**

São Leopoldo

2022

JOSIELE DE LORENZI FONSECA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA ENCUNHAMENTO:
Aplicadas em Parede de Alvenaria**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Bernardo F. Tutikian

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Christ

São Leopoldo

2022

JOSIELE DE LORENZI FONSECA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA ENCUNHAMENTO:

Aplicadas em Parede de Alvenaria

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Bernardo F. Tutikian

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Christ

Aprovado em 28 de julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Doutora em Engenharia Civil Bárbara Jordani – Ftec Faculdades

Doutora em Arquitetura Alessandra Tirebele – Universidade do Vale do Rio do Sinos
- UNISINOS

Doutor em Engenharia Civil Roberto Christ - Universidade do Vale do Rio do Sinos -
UNISINOS

Doutor em Engenharia Civil Bernardo Fonseca Tutikian - Universidade do Vale do
Rio do Sinos - UNISINOS

- O48a Oliveira, Josiele de Lorenzi Fonseca de
Avaliação das argamassas para encunhamento : aplicadas em parede de alvenaria / por Josiele de Lorenzi Fonseca de Oliveira. – 2022.
131 f. : il., 30 cm.
- Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Bernardo F. Tutikian; Coorientador: Prof. Dr. Roberto Christ.
1. Ligação de topo. 2. Última fiada. 3. Resistência à compressão. 4. Absorção das tensões. 5. Manifestação patológica. I. Título.
- CDU 691.53

Catálogo na Fonte:
Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

Agradeço e divido esta conquista com minha família, em especial meu esposo, por todo o amor, suporte, compreensão e por me incentivar a esta pesquisa que tanto me orgulho.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação foi possível realizar devido à ajuda da minha família, principalmente meu esposo Fabiano, que me incentivou para iniciar o mestrado e professor Roberto Christ, na motivação de ampliar a pesquisa científica realizada na pós-graduação, sobre este assunto pouco explorado no meio acadêmico.

Ao professor Bernardo Tutikian, que aceitou este desafio, junto com o prof. Roberto, sendo meus orientadores, pela partilha de conhecimentos e informação científica, disponibilidade, análise de resultados e revisão de texto ao longo desta pesquisa.

À coordenadora e professora Maria Fernanda, do Instituto Tecnológico em Desempenho e Materiais de Construção – Itt Performance, pelo espaço cedido e ao Rafael, Hinoel e Normam, técnicos do laboratório. Além do André e Bianca, técnicos do laboratório de Materiais de Construção da Universidade, por todo o apoio durante os ensaios, confiança, partilha de conhecimentos e disponibilidade.

Às empresas Construhor e Fida, pelo fornecimento dos materiais utilizados nos ensaios.

Por fim, a todos pelo apoio e motivação ao longo da minha pesquisa. Em especial, à minha família e meu esposo, pelos motivos já enunciados e pela paciência e compreensão durante esta jornada acadêmica.

RESUMO

As manifestações patológicas em alvenarias de vedações vêm sendo diagnosticadas precocemente na área de ligação entre a alvenaria e a estrutura, causando um grande problema na construção civil, principalmente na região do encunhamento, tão importante e pouco explorado em pesquisa. Desta forma, há uma necessidade de uma norma brasileira específica de execução e parâmetros das argamassas para encunhamento. O objetivo deste trabalho foi pesquisar, comparar dados e avaliar a eficácia das argamassas para encunhamento, identificando qual a melhor argamassa para encunhamento flexível, que seja eficaz para minimizar as manifestações patológicas na região do encunhamento. E qual argamassa amortece as deformações estruturais que são transmitidas para a alvenaria. Para alcançar o objetivo, foram realizados ensaios de compressão em paredes com quatro distintas argamassas de encunhamento. As deformações das alvenarias e do encunhamento foram avaliadas, através de ensaios laboratoriais de caracterização e resistência mecânica das argamassas, no estado fresco e endurecido, e a resistência das argamassas aplicadas em paredes. Os ensaios no estado fresco foram realizados para determinação do índice de consistência, densidade da massa e teor de ar incorporado. No estado endurecido, as propriedades estudadas foram de absorção de água, índice de vazios, massa específica, módulo de elasticidade dinâmico e as resistências mecânicas de compressão e tração na flexão. E o ensaio de cisalhamento e compressão de paredes, com o intuito de determinar a deformação e a resistência ao cisalhamento das argamassas aplicadas na região do encunhamento. Para este estudo específico para a região de encunhamento, limitou-se em 4 argamassas e a espuma de poliuretano, sendo 3 argamassas resilientes e 1 argamassa rígida. Os resultados das argamassas mostram que quanto mais resiliente for, com o módulo de elasticidade e teor de ar incorporado elevado, mais absorvem as tensões impostas à parede e a ocorrência de anomalias se torna mais tardia, conforme a aplicação de carga axial no sistema de vedação. Já, no caso da espuma de poliuretano, que é altamente flexível, as anomalias aparecem precocemente, com carga aplicada de 6 kN. Em contrapartida, a parede sem encunhamento obteve a primeira anomalia evidenciada a 61 kN e houve a ruptura a 82,54 kN. Enquanto a argamassa industrializada foi a mais tardia evidenciada a primeira anomalia a 137,20kN.

Palavras-chave: Ligação de topo; Última fiada; Resistência à Compressão; Absorção das Tensões; Manifestação Patológica.

ABSTRACT

Pathological manifestations in sealing masonry have been diagnosed early in the area of connection between the masonry and the structure, causing a major problem in civil construction, especially in the wedge region, so important and little explored in research. Thus, there is a need for a specific Brazilian standard for the execution and parameters of mortars for wedging. The objective of this work was to research, compare data and evaluate the effectiveness of wedge mortars, identifying the best flexible wedge mortar that is effective in minimizing pathological manifestations in the wedge region. And which mortar dampens the structural deformations that are transmitted to the masonry. To achieve the objective, compression tests were carried out on walls with five different wedge mortars. The deformations of the masonry and the wedge were evaluated, through laboratory tests of characterization and mechanical resistance of the mortars, in the fresh and hardened state, and the resistance of the mortars applied on walls. The tests in the fresh state were carried out to determine the consistency index, specific mass and air content. In the hardened state, the properties studied were water absorption, void ratio, specific mass, dynamic modulus of elasticity and mechanical compressive and tensile strengths in bending. And the wall shear and compression test, in order to determine the deformation and the shear strength of the mortars applied in the wedge region. For this specific study for the wedging region, it was limited to 4 mortars and polyurethane foam, being 3 resilient mortars and 1 rigid mortar. The results of the mortars show that the more resilient they are, with the modulus of elasticity and high incorporated air content, the more they absorb the tensions imposed on the wall and the occurrence of anomalies becomes later, according to the application of axial load in the sealing system. In the case of polyurethane foam, which is highly flexible, the anomalies appear early, with an applied load of 6 kN. On the other hand, the wall without wedge obtained the first anomaly evidenced at 61 kN and there was a rupture at 82.54 kN. While the industrialized mortar was the later, the first anomaly was evidenced at 137.20kN.

Keywords: Top link; Last row; Compression Resistance; Stress absorption; Pathological Manifestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeto de vedação vertical (PVV) da 1° fiada	27
Figura 2 – Projeto PVV - Paginação.....	27
Figura 3 – Evolução da curvatura na laje 1 no andamento da obra	31
Figura 4 – Influência da umidade do ar x deformação lenta do concreto	32
Figura 5 – Influência da idade x deformação lenta do concreto	32
Figura 6 – Principais solicitações impostas às superfícies da edificação	38
Figura 7- Deformação superior e inferior idênticas.....	39
Figura 8 – Deformação maior no elemento estrutural superior.	39
Figura 9 – Deformação maior no elemento estrutural de apoio.....	40
Figura 10 – Fissuras de deformação excessiva da laje.....	40
Figura 11 - Fissura de sobrecarga vertical uniformemente distribuída	41
Figura 12 – Fissuras horizontais de sobrecargas e/ou flexo-compressão.....	41
Figura 13 – Descolamento do revestimento e fissuração no encunhamento	42
Figura 14 – Fissura e ruptura dos blocos	42
Figura 15 – Deformação transversal da argamassa de assentamento	43
Figura 16 – Ruptura por tração nas alvenarias	44
Figura 17 – Ruptura do bloco canaleta.....	44
Figura 18 – Fissura pelo encunhamento precoce	45
Figura 19 – Fissuras e descolamento do revestimento	46
Figura 20 – Flambagem dos revestimentos (A) gesso na parede interna (B) revestimento argamassado na fachada.....	46
Figura 21 – Queda do material de revestimento em fachada	47
Figura 22 - Fissura paralela ao comprimento da laje, em forma de escama	49
Figura 23 – Fissura paralela à largura da laje	49
Figura 24 - Absorção de água para os corpos de prova queimados à 750, 800, 850, 900 e 950°C	50
Figura 25 – Encunhamento - tijolos a 45°.....	52
Figura 26 – Encunhamento cunha pré-fabricada de concreto.....	52
Figura 27 – Encunhamento argamassa com expansor	52
Figura 28 – Espaçamento da alvenaria e fundo de viga (encunhamento)	59
Figura 29 – Recuperação de fissura na fachada – bandagem de dessolidarização .	62
Figura 30 – Recuperação de fissura ativa com selante flexível.....	62

Figura 31 – Mistura das argamassas	67
Figura 32 – Bloco de vedação 14cm x 19cm x 29cm	68
Figura 33 – Paredes com cal hidráulica e aditivo expensor	75
Figura 34 – Paredes com espuma expansiva de poliuretano e argamassa industrializadas.....	75
Figura 35 – Esquema do ensaio de compressão de parede	76
Figura 36 – Moldagem dos corpos de prova	77
Figura 37 – Cura dos corpos de prova em ambiente	78
Figura 38 – Moldagem corpos de prova de espuma expansiva de poliuretano.....	78
Figura 39 – Aparelho de controle de ar incorporado	79
Figura 40 – Preenchimento com argamassa a base cilíndrica	80
Figura 41 – Introdução de ar na válvula principal do equipamento	80
Figura 42 – Ensaio de índice de consistência	81
Figura 43 – Medição da argamassa	81
Figura 44 – Estufa com temperatura controlada	82
Figura 45 – Ensaio módulo de elasticidade dinâmico	85
Figura 46 – Ensaio de resistência à tração na flexão.....	86
Figura 47 – Ensaio de resistência à compressão.....	86
Figura 48 – Assentamento dos Blocos cerâmicos.....	88
Figura 49 – Execução da base de 3cm para argamassa de encunhamento.....	89
Figura 50- Execução da argamassa de encunhamento na parede.....	89
Figura 51 – Execução do encunhamento com espuma expansiva de poliuretano....	90
Figura 52 – Encunhamento das paredes P1E-ad e P2E-a1:1:6.....	90
Figura 53 - Encunhamento das paredes P3E-esp e P4E-a1:2:9.....	91
Figura 54 - Encunhamento da parede P5E-ind.....	91
Figura 55 – Paredes regularizadas com argamassa	92
Figura 56 – Distribuição e fixação dos equipamentos LVDT's e deflectômetro.....	93
Figura 57 – Sistema de carregamento e distribuição de carga	93
Figura 58 – Esquema do sistema de aplicação de carga e medições.....	94
Figura 59 - Método do coeficiente amplificador de momento	95
Figura 60 - P4E-1:2:9 de traço 1:2:9	96
Figura 61 - P2E-a1:1:6 de traço 1:1:6	96
Figura 62 - P6 – Sem encunhamento.....	97

Figura 63 – P1E-ad de traço 1:3 + 10% aditivo	97
Figura 64 - P3E-esp com espuma expansiva de poliuretano	98
Figura 65 - P5E-ind de Argamassa industrializada	98
Figura 66- Gráfico carga x deslocamento – P1 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:3+10% aditivo	102
Figura 67 – Primeiro dano, fissura a 76,39kN	103
Figura 68 – Ruptura da argamassa de encunhamento	104
Figura 69 - Gráfico carga x deslocamento – P2 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:1:6.....	105
Figura 70 - Gráfico carga x deslocamento – P2 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:1:6 (detalhe).....	105
Figura 71 – Fissura horizontal P2E-a1:1:6	106
Figura 72 – Parede P2E-a1:1:6 - Ruptura do sistema a 144,92kN	107
Figura 73 – Gráfico carga x deslocamento – P3 da amostra de encunhamento de espuma expansiva	108
Figura 74 – Gráfico carga x deslocamento – P3 da amostra de encunhamento de espuma expansiva (detalhe)	108
Figura 75 – P3E-esp - Fissura e queda de material a 13,91kN.....	109
Figura 76 – Sequência das falhas que fez com que o sentido da deformação alterada	110
Figura 77 - Gráfico carga x deslocamento – P4 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:2:9.....	111
Figura 78 - Gráfico carga x deslocamento – P4 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:2:9 (detalhe).....	111
Figura 79 – Ruptura da P4E-1:2:9.....	112
Figura 80 - Gráfico carga x deslocamento – P5 da amostra de encunhamento de argamassa industrializada.....	113
Figura 81 – Fissuras no topo P5E-ind	114
Figura 82 - Gráfico carga x deslocamento – P6 sem encunhamento	114
Figura 83 – Fissura na horizontal P6.....	115
Figura 84 – Ruptura no bloco na P6.....	115
Figura 85 - Gráfico carga x deslocamento horizontal das amostras ensaiadas	116

Figura 86– Gráfico relação entre deformação horizontal x módulo de elasticidade das amostras ensaiadas	117
Figura 87 – Gráfico carga x deslocamento vertical - LVDT direito e esquerdo.....	118
Figura 88 – Gráficos carga x deslocamento vertical - LVDT esquerdo (a) e direito (b)	119
Figura 89 – Gráfico carga x deslocamento vertical - LVDT superior	120
Figura 90 – Ilustração da formação das fissuras que ocasionou a ruptura do bloco	121
Figura 91 – Gráfico carga aplicada x dano das amostras ensaiadas	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Informações do projeto vedação vertical	26
Quadro 2 – Limites para deslocamento verticais – flechas	30
Quadro 3 – Informações e recomendações das fichas técnicas da argamassa industrializada.	56
Quadro 4 – Forma de aplicação e modo de preparo do aditivo expensor	57
Quadro 5– Procedimento e cuidados para execução do encunhamento	59
Quadro 6 - Prazos a considerar para execução do encunhamento	60
Quadro 7 - Peso e medidas dos corpos de prova	83
Quadro 8 – Resumo dos dados coletados nos ensaios	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Flechas máximas permitidas para lajes e vigas	33
Tabela 2 – VUP para sistemas estruturais e vedação.....	35
Tabela 3 – Propriedades Higrotérmicas	48
Tabela 4 – Umidade higroscópica de equilíbrio.....	50
Tabela 5 – Classificação do encunhamento e materiais	54
Tabela 6 – Normas técnicas e ensaios realizados nas argamassas	68
Tabela 7 – Resumo dos resultados das argamassas no estado fresco	82
Tabela 8 – Ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica	83
Tabela 9 – Densidade de massa aparente aos 12 dias e 28 dias	85
Tabela 10 – Resultado dos ensaios de módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão	87
Tabela 11 – Medidas e percentual de encurtamento das paredes.....	100
Tabela 12 – Principais danos evidenciados nos ensaios de compressão	101

LISTA DAS ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EN – Norma Européenne

NBR – Norma Brasileira

PAV – Projeto de alvenaria de vedação

EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PVV – Projeto de vedações verticais

SVV – Sistema de vedação vertical

SVVIE – Sistema de vedação vertical interna e externa

ELS - Estado Limite de Serviço

VU – Vida útil

VUP – Vida útil de projeto

EPU – Expansão por umidade

PSQ – Programa Setorial da Qualidade

SIMAC – Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos

PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat

SIAC - Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil

SINAT - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais

E-ind – Argamassa industrializada para encunhamento

E-ad – Argamassa traço 1:3 + 10 % aditivo expensor peso do cimento (cimento: areia)

E-a1:1:6 - Argamassa traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-a1:2:9- Argamassa traço 1:2:9 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-esp – Espuma expansiva de poliuretano

LASE – Laboratório de materiais de construção da UNISINOS

CP – Corpo de prova

LVDT - Tradutor de deslocamento variável linear

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Tema	20
1.2 Delimitação do Tema.....	20
1.3 Problema	21
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo Geral	21
1.4.2 Objetivos Específicos	21
1.5 Justificativa.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1 Vedação vertical	24
2.1.1 Projeto de alvenaria de vedação - PAV.....	25
2.1.2 Processo de racionalização.....	28
2.2 Sistema estrutural	29
2.3 Desempenho das vedações	34
2.3.1 Vida útil (VU) e Vida útil de projeto (VUP)	35
2.3.2 Durabilidade	36
2.3.3 Segurança estrutural	37
2.4 Manifestações patológicas em alvenarias	37
2.4.1 Fissuras por deformabilidade das estruturas - Flexão de vigas e lajes	39
2.4.2 Fissuras por deformabilidade das estruturas - Sobrecargas	41
2.4.3 Ruptura das alvenarias.....	42
2.4.4 Fissuras e descolamento por falhas no encunhamento	45
2.4.5 Fissuras higrotérmicas	47
2.5 Ligação da estrutura e topo da alvenaria (encunhamento)	51
2.5.1 Características das argamassas de encunhamento	54
2.5.2 Princípios de execução	58
2.5.3 Tratamento das fissuras no encunhamento	61
3 METODOLOGIA	64
3.1 Determinação dos traços e materiais para encunhamento	64
3.2 Materiais.....	65
3.3 Processo de mistura	66
3.4 Ensaio realizados	67

3.4.1 Ensaio da argamassa no estado fresco.....	69
3.4.2 Ensaio da argamassa no estado endurecido.....	71
3.4.3 Ensaio de cisalhamento ou compressão da parede.....	74
3.5 Método da moldagem dos corpos de prova e ensaios das argamassas e espuma de poliuretano	77
3.5.1 Moldagem dos corpos de prova	77
3.5.2 Ensaio de densidade de massa	79
3.5.3 Ensaio de teor de ar incorporado	79
3.5.4 Ensaio de índice de consistência	80
3.5.5 Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica.....	82
3.5.6 Ensaio de densidade da massa aparente	83
3.5.7 Ensaio de módulo de elasticidade.....	85
3.5.8 Ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão.....	86
3.6 Método de execução e ensaio das paredes	87
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	100
4.1 Encurtamento das paredes	100
4.2 Resultados dos ensaios de compressão	102
4.2.1– Parede 1 - Encunhamento de argamassa 1:3+10% aditivo (P1E-ad)	102
4.2.2 Parede 2 – Encunhamento com argamassa 1:1:6 (P2E-a1:1:6)	104
4.2.3 Parede 3 – Encunhamento com espuma de poliuretano (P3E-esp).....	107
4.2.4 Parede 4 - Encunhamento com argamassa 1:2:9 (P4E-a1:2:9)	110
4.2.5 Parede 5 – Encunhamento com argamassa industrializada (P5E-ind).....	112
4.2.6 Parede 6 – Sem encunhamento (P6)	114
4.3 Análise comparativas das paredes ensaiadas	116
4.3.1 Deslocamento horizontal	116
4.3.2 Deslocamento verticais – LVDT direito e esquerdo.....	117
4.3.3 Deslocamento vertical superior	119
4.3.4 Danos das paredes submetidas a compressão axial	121
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
5.1 Conclusões diante da caracterização dos materiais.....	123
5.2 Conclusões diante do tempo de execução do encunhamento	123
5.3 Conclusões do ensaio de compressão e cisalhamento das paredes.....	124
REFERÊNCIAS.....	126

APÊNDICE.....131

1 INTRODUÇÃO

O processo construtivo com a estrutura em concreto armado e fechamento de alvenaria é o mais utilizado no Brasil. Mesmo assim, a mão de obra desqualificada e a baixa mecanização nos canteiros de obra resultam em altos desperdícios de mão de obra, tempo, materiais e recursos energéticos, o que gera poluição e degradação ambiental (CAPORRINO, 2018; SILVA; MOREIRA, 2017).

O surgimento de manifestações patológicas na ligação entre a alvenaria e a estrutura de concreto armado pode ser ocasionado por diversos fatores. Com o avanço da tecnologia, as estruturas estão mais esbeltas, menos contraventadas e mais deformáveis, as quais podem ser imediatas ou lentas. Ainda, o uso de materiais de fechamento mais leves e concretos de alta resistência também pode afetar o desempenho da ligação. (CAPORRINO, 2018; THOMAZ; MEDEIROS; FRANCO, 2007). Portanto, a ligação dos elementos do sistema necessita ser feita com a aplicação de materiais que absorvem as tensões, minimizando os esforços transferidos à alvenaria (SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016).

Manifestações patológicas, como fissuras podem ocorrer devido à execução inadequada do encunhamento, fazendo com que as alvenarias não estruturais não suportem sobrepeso de cargas verticais. (CAPORRINO, 2018). Ainda, a compressão axial dos componentes da alvenaria, provenientes de sobrecargas uniformemente distribuídas, pode gerar fissuras horizontais, devido a flexo-compressão da parede, pela deformação dos elementos estruturais (THOMAZ, 2020).

Desta forma, todo o sistema se deforma. É necessário conhecer qual é o grau de flexibilidade dos elementos (vigas e lajes) e como eles se comportam para definir qual o sistema de fixação e/ou a argamassa de encunhamento a ser utilizada.

A partir de pesquisas bibliográficas sobre o assunto e discussões entre os profissionais de renome, entende-se que na ligação entre alvenaria e a estrutura laje/viga deve-se utilizar material flexível, sendo o modo de preparo e de execução variável (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

É importante frisar que há muitas divergências dos materiais a serem utilizados, provocando situações constantes quanto à possibilidade de uso de materiais alternativos e diversos traços de argamassas e aditivos.

O desenvolvimento deste trabalho vem para contribuir com dados coletados através de ensaios, com a finalidade de identificar a capacidade de absorção de tensões de argamassas de diferentes traços, suas propriedades físicas e mecânicas, e as respostas provocadas pela aplicação de carga em protótipos de paredes, determinando a resistência à compressão da alvenaria até o cisalhamento.

Este trabalho contribui para auxiliar os profissionais em determinar qual o melhor material a ser utilizado na região do encunhamento, como uma medida preventiva contra as consequências, principalmente as fissuras, devido aos mecanismos de absorção das deformações.

1.1 Tema

O tema deste trabalho é: qual a melhor argamassa para o encunhamento e que seja eficaz para minimizar as manifestações patológicas na região do encunhamento? Qual a espessura da argamassa para encunhamento que absorve as deformações estruturais, transmitidas à alvenaria? Destaca-se a importância da pesquisa exploratória e teórica, através de análise laboratorial com o intuito de contribuir para futuras pesquisas sobre o assunto.

1.2 Delimitação do Tema

O presente trabalho delimitou-se a avaliar as principais propriedades mecânicas das argamassas para encunhamento, em três etapas de análises laboratoriais, delimitando a três traços de argamassas. Na primeira etapa foi a definição dos traços. Na segunda etapa a realização dos ensaios no estado fresco de índice de consistência, densidade da massa e o teor de ar incorporado. Na terceira etapa de massa específica, índice de vazios, absorção de água, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão e, última etapa, foi realizado o ensaio de cisalhamento e compressão de paredes, com o intuito de determinar a deformação e a resistência ao cisalhamento das argamassas aplicadas na região do encunhamento.

1.3 Problema

Nas últimas décadas, as manifestações patológicas em alvenarias de vedação nos edifícios vêm surgindo precocemente, causando um grande problema no setor da construção civil. Desta forma, as práticas utilizadas no passado não estão sendo apropriadas para as estruturas da atualidade, pois estas são mais deformáveis, com redução de pilares e vãos livres maiores. A fixação rígida entre a alvenaria e a estrutura na região do encunhamento cria uma pressão entre os elementos, e esta pressão pode causar fissuras, trincas e deslocamentos nos revestimentos.

Portanto, é necessária a fixação com material mais flexível, deformável e resiliente, como argamassa de baixa resistência, chamada popularmente de massa podre. Ainda, recomenda-se o uso de argamassa rica em cal ou com aditivos, para absorver as tensões transferidas à parede, evitando as manifestações patológicas. Se faz necessário elaboração e uso de projeto de vedação vertical e estrutural detalhados, compatíveis entre si.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho avaliar a eficácia das argamassas para encunhamento de alvenarias de vedação e contribuir para coleta de dados obtidos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar as manifestações patológicas causadas nas paredes, quando a argamassa para encunhamento não absorve os esforços transmitidos à alvenaria;
- b) Compreender a transmissão dos esforços de compressão da viga à alvenaria e medir a deformação da argamassa de encunhamento e da alvenaria;
- c) Avaliar e comparar as diferentes variáveis dos resultados das argamassas de encunhamento como: módulo de elasticidade, resistência à tração na

flexão, resistência à compressão; e na aplicação em paredes, a deformação e a resistência à compressão.

1.5 Justificativa

Quanto ao tema, há poucos estudos sobre a região de encunhamento, apesar de este ser tão importante e gerar muitas manifestações patológicas.

De modo geral, é importante prevenir as fissuras na ligação entre a alvenaria de vedação e a estrutura de concreto armado (vigas e pilares), devido às deformações dos elementos estruturais e os materiais de diferentes coeficientes de dilatação (MUCI; NETTO; SILVA, 2014; THOMAZ, 2020). De acordo com Lordsleem Jr. (1997), as fissuras na alvenaria e nos revestimentos são as mais frequentes anomalias observadas (SENA et. al, 2020).

Uma manifestação patológica nem sempre é ocasionada por uma anomalia apenas, podendo estar ligada a vários fatores, como falhas em projetos, materiais inadequados, incompatibilidade de sistemas, dosagens dos materiais e mão de obra não qualificada ou treinada, entre outros.

Em consequência, as fissuras podem comprometer o conforto higrotérmico, conforto acústico, a estanqueidade e a durabilidade, diminuindo a vida útil (VU) dos componentes da alvenaria e da estrutura das edificações, além da aparência estética e gerando desconforto psicológico aos usuários da edificação.

Quanto à sustentabilidade, deve-se considerar os desperdícios de materiais, principalmente os resíduos sólidos, gerados no processo construtivo e em reformas, demolições e reparos nas edificações, provenientes de manifestações patológicas (CAPORRINO, 2018).

Reformas e reparos são decorrentes de modernização ou de correções de defeitos da edificação, porém, para reduzir a quantidade de resíduos gerados nessas atividades deve-se melhorar a qualidade das construções, assim reduzindo as manutenções causadas pelas correções (AMADEI et al., 2011).

Justifica-se este tema pela continuidade do trabalho de pesquisa desenvolvido pela autora no programa de pós-graduação em patologia e desempenho na construção, no qual demonstrou uma vasta variação de informações de execução e materiais.

A falta de critérios básicos que caracterizem o material a ser utilizado e a técnica ideal para cada tipo de estrutura vem determinando variações em seu desempenho e suas características, favorecendo o surgimento das manifestações patológicas nas alvenarias decorrentes de falhas ou não do encunhamento. Estas falhas podem estar associadas à diversidade de traços e materiais utilizados, levando em consideração a qualidade e a dosagem das argamassas para encunhamento.

Ainda, as normas brasileiras não possuem especificações dos parâmetros quanto ao uso dos materiais a serem empregados.

A necessidade de ser desenvolvida uma norma brasileira com parâmetros e formas de execução, classificando o sistema de estrutura, com controles sobre a composição da argamassa, com aditivos ou não, volume de água e o tempo de mistura, reduzindo a variabilidade das proporções dos materiais, é evidente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vedação vertical

No início da década de 80, ocorreu o chamado “milagre brasileiro”, com políticas de emprego e plano econômico com facilidades de financiamentos, alavancando o setor da construção civil. Porém, houve com contratações de mão de obra desqualificada, mas também implantação de sistemas inovadores (SILVA, 2003a).

Outro fato importante ocorreu no período de 2007 até 2013, o crescimento do produto interno bruto (PIB), com o setor da construção civil apresentando um aumento na produção e aceleração do mercado imobiliário, tornando-se muito competitivo, gerando novas tecnologias, empregos e uso de materiais inovadores diversos. Com o crescimento do setor, houve a necessidade de estudos e análises dos materiais com maior qualidade e produtividade, pois, por consequência deste crescimento da construção civil desordenado, obteve-se um aumento considerável das manifestações patológicas nas edificações (OLIVEIRA *et al.*, 2019; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016).

O processo construtivo mais utilizado no Brasil é a estrutura de concreto armado com alvenaria de vedação, sem a necessidade de mão de obra qualificada e de poucos processos de mecanização, resultando em altos desperdícios de materiais e mão de obra (CAPORRINO, 2018; SILVA, 2003a).

Os tijolos e blocos cerâmicos estão descritos em toda a história mundial das formações das cidades, com funções estruturais ou de fechamento de vãos, podendo ser aparentes ou revestidos. (SILVA, 2003a). Cada país define os padrões referentes ao dimensionamento, massa e resistência, com regulamentos, especificações e normas (FERREIRA NETO; BERTOLI, 2010).

No Brasil, a ABNT NBR 15270 - parte 1 define os requisitos gerais como resistências, dimensões e execução. Já a parte 2 aborda os métodos de ensaios. (ABNT, 2017). Na Europa, existe o Eurocode 6 - *Design of masonry structures* (EN 1996, 2009), da parte 1 até a parte 3, e faz considerações de projetos de alvenarias, materiais, execução, reforços e cálculos (FERREIRA NETO; BERTOLI, 2010).

As alvenarias são elementos que fazem parte do sistema de vedação vertical externo ou interno (SVVIE), classificados em alvenaria estrutural ou de vedação (SENA et al., 2020; CAPORRINO, 2018; LORDSLEEM JR., 2000).

O sistema de vedação vertical, além das paredes, é constituído por esquadrias e revestimentos, e a sua funcionalidade é proteger os usuários e a edificação de intempéries, animais, ruído, poeira, bem como delimitar ambientes internos, oferecendo segurança estrutural, resistência ao fogo, durabilidade, estanqueidade, isolamento térmico e acústico (SILVA; MOREIRA, 2017).

2.1.1 Projeto de alvenaria de vedação - PAV

O projeto de alvenaria de vedação iniciou-se 30 anos atrás, aproximadamente. Em 1991, a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) realizou uma pesquisa em convênio com a ENCOL Construtora e com a SCHAIN CURY Engenharia, e, em 1995, desenvolveram diretrizes e recomendações para elaboração do PAV. (SILVA; MOREIRA, 2017). Mas só em 2013 que alguns profissionais adotaram projetos de vedações verticais (PVV) com a vigência da Norma de Desempenho, NBR 15575 - parte 4. (ABNT, 2021).

Com a exigência do mercado imobiliário, as construtoras introduziram o sistema de gestão de qualidade, buscando aprimoramento na elaboração de projetos e eficiência nos processos de execução e planejamento (PEÑA; FRANCO, 2006).

O PAV é o início de uma boa execução, pois com o detalhamento dos pontos críticos evita-se futuras anomalias. O planejamento durante a elaboração dos projetos, pensando na sistemática em que os problemas possam surgir, ajuda na prevenção e solução ainda na fase de projeto (CAPORRINO, 2018).

Cuidados especiais para a elaboração do projeto devem ser levados em consideração, como as deformações das estruturas, o desempenho das fundações, detalhamento da correta interface com a estrutura, resistência dos blocos de assentamento, tipo de revestimento, e o sistema em geral ter a capacidade de resistir a choques térmicos, agentes poluentes e à exposição de chuva e umidade (SILVA FILHO, 2018b).

Dentro deste processo, o PVV auxilia na compatibilização de projetos técnicos, induzindo a racionalização (PEÑA; FRANCO, 2006). O uso racional dos materiais é determinante para o mercado mais competitivo (FRANCO, 2004).

Silva (2017) propõe, através dos estudos de Lordsleem Jr. (2004), Peña; Franco (2006) e Carasek et al. (2011), informações relevantes ao PVV, tanto na parte escrita quanto na gráfica, como se observa no quadro 1.

Quadro 1- Informações do projeto vedação vertical

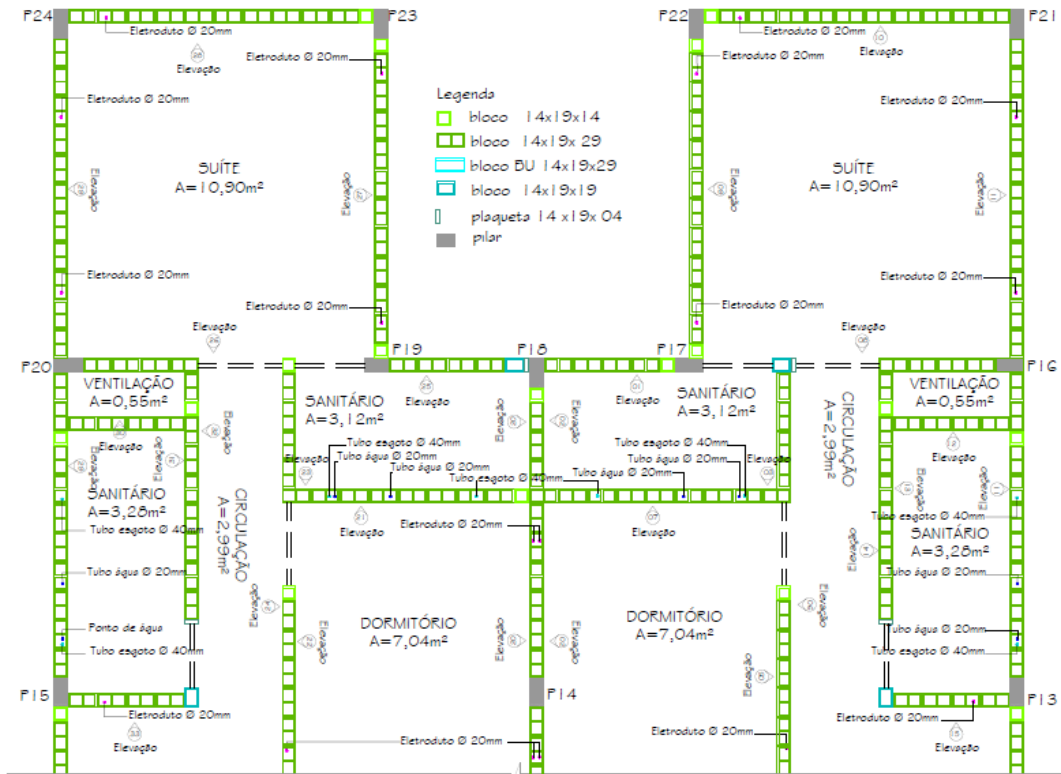
	Projeto de Vedação Vertical - PVV
Parte escrita	Especificações dos materiais; Sequência executiva; Procedimentos executivos.
Parte gráfica	Planta de conferência; Planta de identificação das paredes; Plantas de marcação da primeira e segunda fiada; Planta baixa das passagens elétricas; Planta baixa de passagens hidráulicas; Caderno de elevações; Caderno de detalhes.

Fonte: Adaptado de Silva (2017 p.21).

A parte escrita do PVV é o conjunto de dados levantados, viabilizando a elaboração da parte gráfica, com as especificações dos materiais utilizados, traços e espessuras das argamassas de assentamento e encunhamento, forma de locação e execução das paredes, e detalhamentos de juntas e ligações com a estrutura, (LORDSLEEM JR., 2000; SILVA; MOREIRA, 2017), além de dados compatibilizados desde a elaboração do projeto até o final da execução (CAPORRINO, 2018).

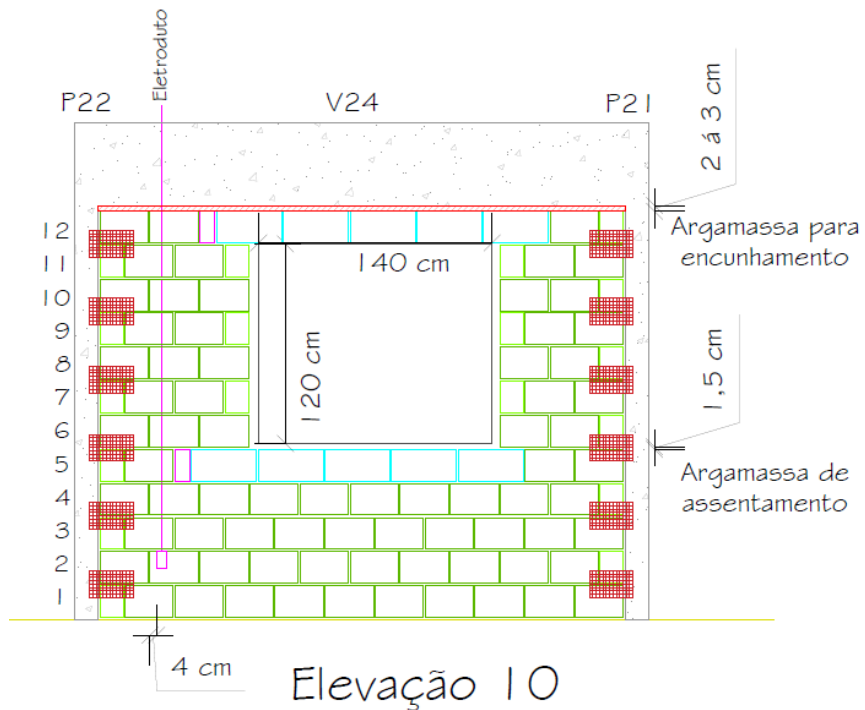
Segundo Caporrino (2018), o projeto da alvenaria inicia-se com a modulação das fiadas com a estrutura (figura 1), os vãos das esquadrias e a paginação (figura 2), de cada parede evitando os cortes de blocos em obra (SILVA; MOREIRA, 2017). Ainda, incluem detalhes e informações necessárias para a execução das alvenarias, como: plantas baixas, cortes com alturas dos peitoris e/ou detalhes construtivos, além das vistas das alvenarias (THOMAZ; MEDEIROS; FRANCO, 2007).

Figura 1 – Projeto de vedação vertical (PVV) da 1ª fiada



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 2 – Projeto PVV - Paginação



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

2.1.2 Processo de racionalização

O processo de racionalização é uma estratégia para otimizar a produção da mão de obra e os materiais em toda a edificação, mas as variáveis envolvidas em todo o processo construtivo tornam difícil a sua efetivação (LORDSLEEM JR., 2000; SILVA; MOREIRA, 2017). Para a superação destes obstáculos, estudos foram iniciados pela execução do subsistema da estrutura, uns dos motivos que a estrutura em concreto armado vem recebendo mais atenção em pesquisas de inovação tecnológica (THOMAZ, 2001).

Neste contexto, as estruturas e tipologias estão cada vez mais esbeltas e o concreto evoluiu muito, fazendo com que as alvenarias necessitem ser mais precisas. Dornelles et al. (2005) destacam que o PVV é imprescindível. Ponto também destacado por Silva (2003).

Importantes aspectos devem ser observados no PVV, como planejamento e diretriz de racionalização construtivas, a compatibilização da alvenaria e os outros sistemas da edificação. (PEÑA; FRANCO, 2006). Inclui-se, ainda, nesta temática, os trabalhos de Silva (2003), Caporrino (2018), Silva e Moreira (2017), além dos renomados Sabatini (1989), Thomaz (2001) e Lordsleem Jr. (2000).

De acordo com Silva e Moreira (2017, p.18),

A racionalização é o processo que gera ações contra o desperdício de tempo e de materiais dentro do processo construtivo, empregando raciocínio sistemático, lógico e resolutivo, visando substituir as práticas convencionais ao eliminar a casualidade nas decisões. Ou seja, a racionalização é a otimização do uso dos recursos em todas as atividades desenvolvidas na construção do edifício.

Em relação ao custo final da obra, a alvenaria representa cerca de 6%, mas pode atingir até 40%, dependendo do desperdício na obra, pensando em todo o conjunto (LORDSLEEM JR., 2000). Porém, Peña (2006) considera que o custo pode ficar acima do previsto com os desperdícios de materiais e mão de obra.

As medidas de racionalização na produção vêm sendo adotadas nas construtoras em busca da competitividade do mercado, motivada pela redução de custos de produção e reparos durante e pós obra (LORDSLEEM JR., 2000; SILVA; MOREIRA, 2017).

Conforme Silva e Pires Sobrinho (2016), o alto custo das correções de anomalias pós obra, muitas vezes não previsto no orçamento, diminui o lucro ou até gera um déficit orçamentário.

Porém, com a racionalização, problemas também surgiram. Houve um excesso na etapa de racionalização, aumentando a velocidade no processo construtivo, sem respeitar o tempo para a estrutura se deformar, portanto, para ganhar qualidade, algumas construtoras determinaram estratégias para reduzir esses problemas, minimizando assim as manifestações patológicas das edificações (DORNELLES; FRANÇA; RONTANI; GOMES; SANCHEZ, 2005; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016).

2.2 Sistema estrutural

Os componentes estruturais, como vigas e lajes, podem se deformar apenas com seu peso próprio. Ainda, quando acrescidas as cargas acidentais e outras permanentes, estes componentes podem até atingir o limite da flexa, o Estado Limite de Serviço (ELS). Mesmo que não comprometa a estrutura da edificação, esse limite pode ser incompatível com os outros sistemas, como o de vedação vertical (SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016; THOMAZ, 2020). Já as vigas de fundação, estando apoiadas sobre o solo, dificilmente se deformam (SENA et al., 2020).

A norma ABNT NBR 6118 - Projetos de estruturas de concreto - procedimentos (ABNT, 2014), que está em revisão, delimita os limites de deslocamentos para as deformações estruturais dos elementos fletidos. A versão da norma de 1978 considerava somente a deformação no meio do vão, com limite de $l/300$; já na versão de 2014, se leva em consideração a função da obra e a carga que o elemento estrutural irá suportar, limitando o deslocamento, conforme quadro 2.

Quadro 2 – Limites para deslocamento verticais – flechas

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento Limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell / 250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell / 350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell / 250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pista de boliches	Total	$\ell / 350 +$ contraflecha ^b
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell / 600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell / 500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell / 250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H / 1.700$ e $H_i / 850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell / 400^g$ e 15 mm

a - As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

b - Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $\ell / 350$.

c - O vão ℓ deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

d - Rotação nos elementos que suportam paredes.

e - H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

f - Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.

g - O valor refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

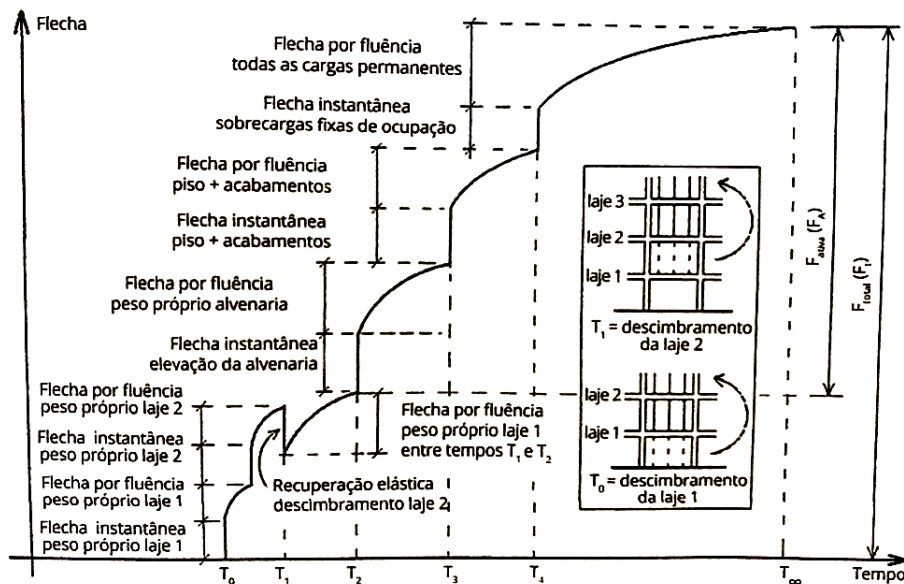
Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2014).

Porém outros países possuem limites de flechas muito inferiores às admitidas pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Segundo Thomas (2020), as normas da Bélgica são umas das mais severas, como exemplo, a flecha limite para as lajes é de $1/2500$. Portanto os projetistas estruturais precisam ter muita atenção na verificação das

flechas dos elementos estruturais, pois as deformações excessivas não podem prejudicar outro sistema, levando em conta as cargas permanentes e o módulo de deformação do concreto a ser definido no projeto.

As flexas dos elementos estruturais e de alvenaria, pisos, revestimentos e outros materiais, devem ser compatibilizados ainda na fase de projeto, além de ser verificados em cada etapa da construção. O módulo de deformação do concreto varia conforme representado na figura 3 (THOMAZ, 2020).

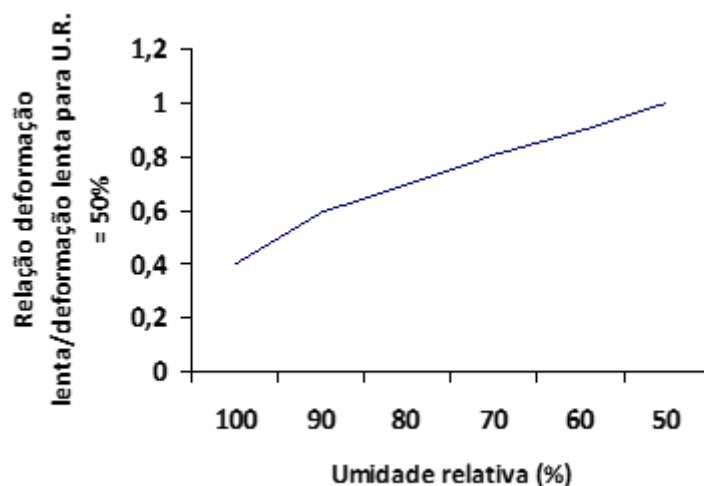
Figura 3 – Evolução da curvatura na laje 1 no andamento da obra



Fonte: Thomaz (2020, p.82)

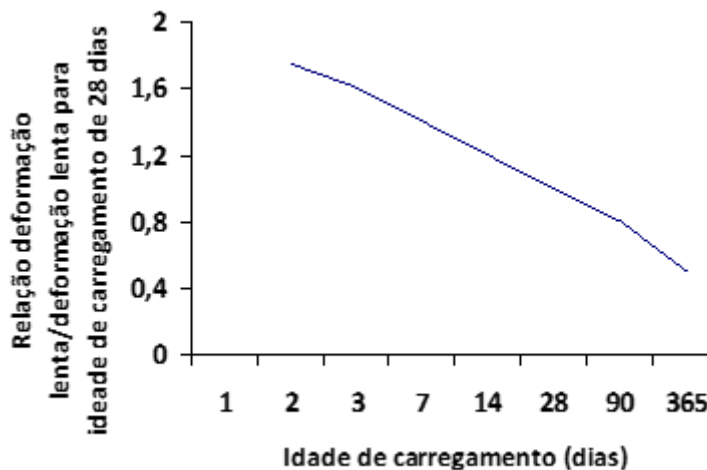
A deformação do concreto é alvo de vários estudos. No caso da deformação lenta ou fluência, esta é influenciada por diversos fatores, como a umidade do ar (figura 4), a idade do concreto (figura 5) e a dosagem do concreto. Os gráficos de *Building Research Station* de 1970 são válidos para concretos com agregados de brita de rocha (THOMAS, 2020).

Figura 4 – Influência da umidade do ar x deformação lenta do concreto



Fonte: Adaptado de Thomaz (2020, p.81)

Figura 5 – Influência da idade x deformação lenta do concreto



Fonte: Adaptado de Thomaz (2020, p.81)

Observa-se que, quanto maior a umidade do ar e maior o tempo de carregamento, menor é a deformação lenta do concreto.

As alvenarias podem fissurar pela deformação dos componentes estruturais (vigas e lajes), caso não suporte as tensões impostas. (SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016). Nos ensaios realizados por Franco (2004) *apud* Junior (2005), de prova de carga em laje sobre paredes, ocorreram fissuras com deformações de 1,5mm e cerca

de $l/4000$ de limitação de flecha na laje com encunhamento rígido. O estudo mostrou que o sistema de vedação foi incompatível com os limites de deformação estrutural. Por isso, deve-se evitar as ligações rígidas em estruturas com deslocamentos consideráveis (RONTANI JÚNIOR, 2005).

Em estudos realizados em paredes de dimensões de 7,50m de comprimento e 2,50m de altura, com tijolos cerâmicos, surgiram as primeiras fissuras na alvenaria junto à viga superior quando atingiu-se a flecha em 6,54mm, ou seja, $l/1150$ e outra em $l/1500$ (PEFFERMAN; PATIGNY (1975) *apud* THOMAZ, 2020).

Para as paredes monolíticas ou painéis em alvenaria com suporte de vigas ou lajes, Rontani Júnior (2005) propõe flexas máximas permitidas, conforme tabela 1. Estes são valores máximos admitidos para fissurações e deformações imposta à alvenaria.

Tabela 1 – Flechas máximas permitidas para lajes e vigas

Paredes monolíticas em alvenarias		Imediatas			Totais
		S_{gk}	S_{qk}	$S_{gk}+0,7S_{qk}$	$S_{gk}+0,7S_{qk}$
Vigas	Com aberturas	$l/850$	$l/500$	$l/700$	$l/320$
	Sem aberturas	$l/750$	$l/500$	$l/650$	$l/280$
Lajes	Com aberturas	$l/900$	$l/500$	$l/800$	$l/350$
	Sem aberturas	$l/750$	$l/500$	$l/700$	$l/300$

S_{gk} = Solicitação devida a cargas permanentes características

S_{qk} = Solicitação devida a cargas acidentais características

Fonte: Rontani Júnior (2005).

É possível perceber que a estimativa das flexas dos componentes estruturais é tarefa quase impossível, pois possuem diversos fatores que interferem, como o módulo de deformação do concreto instantâneo e ao longo do tempo. Desta forma, deve-se prevalecer sempre a segurança estrutural com critérios e requisitos de desempenho das edificações (RONTANI JÚNIOR, 2005; THOMAZ, 2020).

2.3 Desempenho das vedações

Em relação ao desempenho das vedações, a deformabilidade das alvenarias tem uma importância em manter-se íntegra durante a sua vida útil (VU), pois necessita distribuir as deformações impostas a ela, sem prejudicar o desempenho (SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016).

De acordo com Rontani Júnior (2005, p.163 e 164) os fatores mais relevantes são:

- **Módulo de deformação da alvenaria** – associado ao módulo de deformação dos blocos e da argamassa de assentamento. Argamassas com elevada resistência e rigidez produzem alvenaria com pouca capacidade de absorção de deformação.
- **Resistência de aderência entre juntas de argamassa e os componentes da alvenaria** – fator que distribui as tensões pelo painel. Devem transmitir os esforços sem surgimento de fissuras nas interfaces.
- **Espessura das juntas de assentamento** – deve possuir espessura suficiente para que as deformações não sejam elevadas ao longo da espessura.
- **Não preenchimento das juntas verticais** - redução do módulo de deformação das paredes.

Em nenhuma norma se observa o limite de deformabilidade das alvenarias e/ou a capacidade em que as paredes suportam a deformação, sem causar fissuração, apenas dos componentes isolados. Por exemplo, resistência à compressão dos blocos cerâmicos, determinados pela NBR 15270 - parte 1 (ABNT, 2017), no item 5.7, concluindo que para se determinar o desempenho do sistema de vedações requer-se conhecimento tecnológico do sistema construtivo.

Devido à necessidade de determinar o desempenho das edificações no Brasil, em 2013 entrou em vigor a norma de Desempenho das Edificações Habitacionais, ABNT NBR 15575, dividida em 6 partes, e atualizada em 2021. Esta norma estabelece critérios e requisitos pensando no usuário e suas exigências:

- Segurança – estrutural, contra o fogo, uso e manutenção;
- Habitabilidade – estanqueidade; desempenho térmico, acústico e lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropo dinâmico;
- Sustentabilidade – durabilidade, maneabilidade e impacto ambiental.

É classificado o sistema como um todo, em desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), conforme a parte 4 da NBR 15575 - Sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), requisitos do sistema construtivo (ABNT, 2021; SILVA; MOREIRA, 2017).

Os ensaios e avaliações técnicas para o SVVIE, em relação ao sistema estrutural, segurança contra o fogo, segurança no uso e operação, desempenho térmico, acústico e durabilidade são responsabilidade dos fabricantes do sistema e ou materiais. Já os projetistas, construtores e incorporadores são responsáveis pelo desempenho acústico, desempenho térmico e calcular a transmitância e capacidade térmica dos materiais, conforme a composição do sistema (NGI, 2018).

Vida útil e durabilidade estão interligadas. Para se determinar a VU de uma edificação, depende-se da durabilidade dela. A vida útil de projeto (VUP) é definida em projeto, pelo projetista e pelo incorporador (CAPORRINO, 2018).

2.3.1 Vida útil (VU) e Vida útil de projeto (VUP)

Conforme a Norma de Desempenho NBR 15575 - parte 1 (ABNT, 2021), edificações habitacionais devem ter a VUP conforme tabela 2, para cada sistema da edificação, obtendo-se desempenho mínimo estabelecido por norma. Porém, em muitos casos, construções apresentam manifestações patológicas antes do prazo previsto pela norma, causando um grande problema na construção civil (HENZ, 2009).

Tabela 2 – VUP para sistemas estruturais e vedação

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1 (2021).

Lima Filho (2018) afirma que, para o SVV atingir as VUP, é necessário atentar para as premissas de desempenho acústico, estanqueidade, transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (C). Recomenda-se que as construtoras, empreiteiros e os fabricantes tenham conhecimento de todos os componentes do sistema de

fachadas como: argamassa de assentamento, argamassa de revestimento e o sistema de fixação superior (encunhamento).

Outro componente do SVV de extrema importância, os blocos cerâmicos, é avaliado nacionalmente de forma constante pelo Programa Setorial da Qualidade – PSQ. Este programa reúne dados com base no monitoramento de qualidade de produtos definidos por cada setor, disponibilizando informações para profissionais da construção civil. Além dos blocos cerâmicos, as argamassas colantes, cimentos, esquadrias de PVC e outros, fazem parte deste programa (SENA et al., 2020).

O PSQ é um dos programas que fazem parte do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H, e é uma ferramenta do Governo Federal, priorizando a qualidade, segurança e durabilidade das obras no Brasil. Este programa é dividido em 3 sistemas, o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SIAC; o Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos – SIMAC; e o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais – SINAT; que certificam e qualificam empresas e produtos e sistemas inovadores (SENA et al., 2020).

2.3.2 Durabilidade

O sistema de vedação vertical não possui função estrutural, suporta apenas o seu próprio peso (SILVA; MOREIRA, 2017), e no geral as alvenarias apresentam um bom desempenho à compressão, porém, não à tração, flexão e cisalhamento. Isso, devido aos componentes diferentes não possuírem o mesmo desempenho (FRANÇA, 2017; THOMAZ, 2001).

Apesar das alvenarias serem elementos sujeitos às fissurações, são responsáveis por grande parte do desempenho das edificações. (LORDSLEEM JR., 2004). Para atender adequadamente aos requisitos exigidos sem que apresentem problemas patológicos, devem resistir às cargas, aos ventos, aos impactos e à ação do fogo (SILVA FILHO, 2018).

As fissuras comprometem a durabilidade do sistema de vedação, permitem a entrada de água, ar e poeira, interferindo na estanqueidade do sistema. Se ocorrerem na região da ligação entre a alvenaria e a estrutura (encunhamento), com características horizontais, são responsáveis pela penetração de umidade nas

paredes internas, por consequência de infiltrações das paredes externas (HENZ, 2009; LORDSLEEM JR., 2000).

A estanqueidade sonora também é afetada pelos erros de execução e/ou fissuras, comprometendo o desempenho acústico (FERREIRA; BERTOLI, 2010; LABRES et al., 2020). Geralmente o desempenho na edificação fica abaixo dos ensaios laboratoriais dos fabricantes, devido à erros de execução ou aplicação. (MATEUS; PEREIRA, 2011). Os ruídos aéreos, principalmente em alvenarias de tijolos, e as variações das características como dimensões e espessura da argamassa, além da localização da parede interna ou externa, também influência no desempenho acústico (PIÃO; GODINHO; TADEU, 2008).

Na NBR 15575-4 (ABNT, 2021), o desempenho de sistemas de vedações verticais depende do critério de isolamento acústico ao ruído aéreo do sistema de vedação da edificação concluída. Ou seja, todo o sistema é avaliado em conjunto, e quaisquer erros de execução, como frestas no contorno das aberturas, devido ao erro da instalação, reboco insuficiente, fissuração e alvenaria de tijolos sem juntas verticais e frestas no encunhamento, comprometem o resultado final (DUARTE, 2015; SILVA; MOREIRA, 2017; LABRES, 2017).

2.3.3 Segurança estrutural

Todo o sistema estrutural deverá atender à VUP, levando em consideração a ação do vento, peso próprio, sobrecargas e outros. Portanto, o sistema deverá ter estabilidade e resistência, apresentando segurança aos usuários utilizadores da edificação, e tão pouco promover a insegurança através de deformações dos elementos estruturais, ocasionando fissuras no sistema de vedação não aceitáveis. Os limites de deformações estão previstos na NBR 15575-2 (ABNT, 2022), na qual devem ser consideradas na fase de projeto, impondo um nível de segurança e não perdendo sua estabilidade.

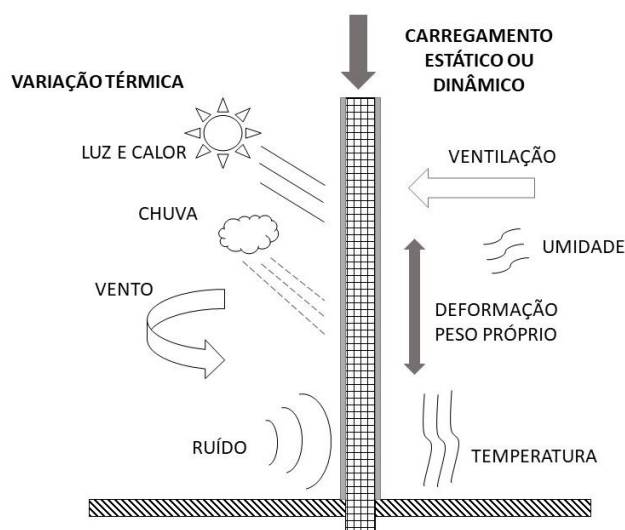
2.4 Manifestações patológicas em alvenarias

Conforme mencionado anteriormente, os blocos, tijolos e os revestimentos pertencem ao SVV, portanto, se uma apresentar alguma anomalia, comprometerá o

desempenho da outra, podendo ser problemas isolados ou correlacionados entre si (SENA et al., 2020).

As manifestações patológicas em edifícios vêm ocorrendo precocemente, causando um grande problema no setor da construção civil, principalmente no Brasil. (HENZ, 2009; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016). As principais estão associadas às suas causas (figura 6), mecanismo de degradação e suas origens, devido à deformabilidade da estrutura, ações externas e incompatibilidade dos componentes (SENA et al., 2020).

Figura 6 – Principais solicitações impostas às superfícies da edificação



Fonte: Adaptada de Sahade (2005) *apud* Silva (2016, p.98).

As mais frequentes, pode-se dizer que são as fissuras de diferentes dimensões, classificadas também como trincas e rachaduras. Como já citado no capítulo 2.30, as alvenarias não resistem às cargas verticais, com as deformações dos elementos estruturais na horizontal, sobre as alvenarias, surgindo o fissuramento por sobrecarga, movimentações de materiais e componentes do sistema de vedação (CAPORRINO, 2018; SENA et al., 2020).

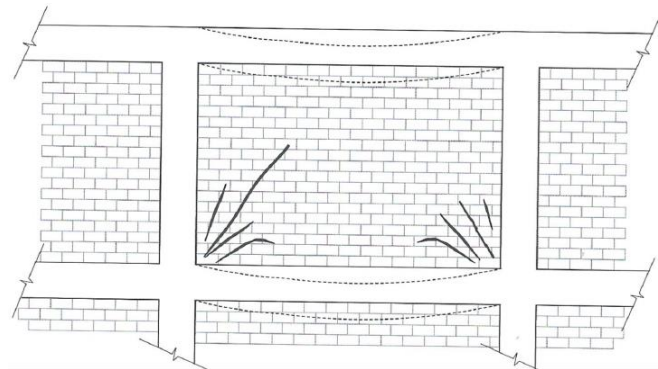
Para Sahade (2005) *apud* Sena et al. (2020), as aberturas superiores a 0,1mm nas alvenarias de vedação influenciam na relação da permeabilidade e durabilidade do SVV, já para um diagnóstico correto, além da classificação do tamanho das fissuras, as tipologias, ou seja, a configuração que se apresenta são fundamentais para identificar as possíveis causas.

2.4.1 Fissuras por deformabilidade das estruturas - Flexão de vigas e lajes

Para paredes de vedação em pórticos, sem aberturas, existem três configurações típicas de fissuras, relacionadas à deformação excessiva das vigas e lajes, estas deformações superiores e inferiores nas alvenarias ocasionam diferentes solicitações (THOMAZ, 2020; CAPORRINO, 2018).

Para Thomaz (2020), as fissuras em 45° inclinadas, iniciadas nos vértices inferiores da alvenaria, conforme na figura 7, são relacionadas à deformação dos elementos da estrutura inferior e superior idênticas, a parede é submetida a tensões de cisalhamento.

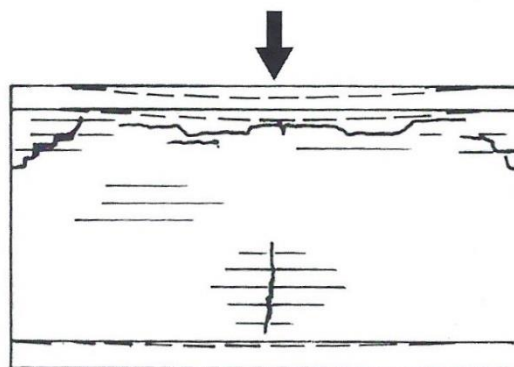
Figura 7- Deformação superior e inferior idênticas.



Fonte: Caporrino (2018, p.47).

Já as fissuras oriundas de cargas não uniformes, da viga superior sobre a alvenaria, surgem inclinadas na parte superior da alvenaria. Quando a deformação do elemento estrutural superior é maior que a inferior, representada na figura 8, a alvenaria comporta-se como uma viga, semelhante à flexão de vigas de concreto armado (THOMAZ, 2020).

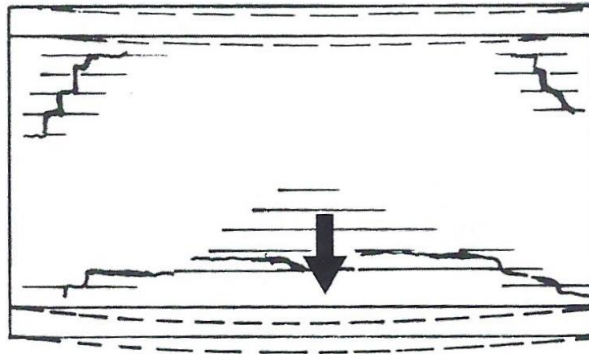
Figura 8 – Deformação maior no elemento estrutural superior.



Fonte: Thomaz (2020, p.90).

Na figura 9, o elemento da estrutura inferior se deforma mais que a superior, surgindo normalmente uma fissura na horizontal, na parte inferior da alvenaria, esta fissura com efeito de arco ocorre em direção aos vértices inferiores da alvenaria, isto acontece quando a largura da parede é superior à sua altura (THOMAZ, 2020).

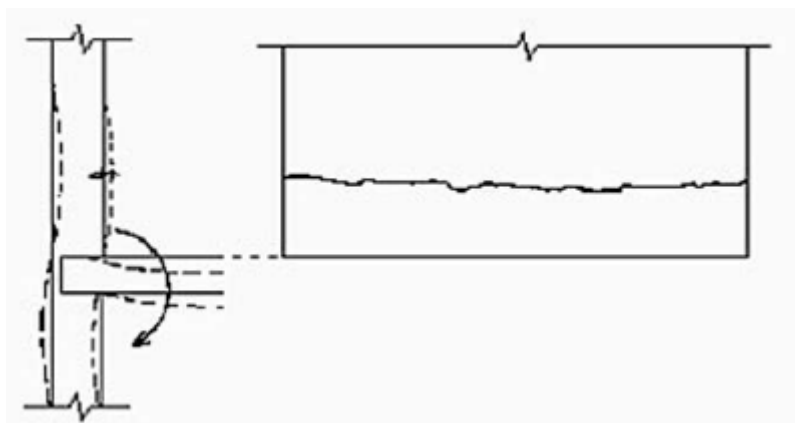
Figura 9 – Deformação maior no elemento estrutural de apoio.



Fonte: Thomaz (2020, p.90).

Nas alvenarias de vedação, com blocos cerâmicos com furos na horizontal, recebe as tensões de compressão, devido ao excesso de deformabilidade da laje ocorrendo ruptura dos blocos em qualquer região da parede, conforme figura 10, as configurações típicas das fissuras na parte inferior da alvenaria no pavimento superior e fissura na parte superior no pavimento inferior (THOMAZ, 2020).

Figura 10 – Fissuras de deformação excessiva da laje

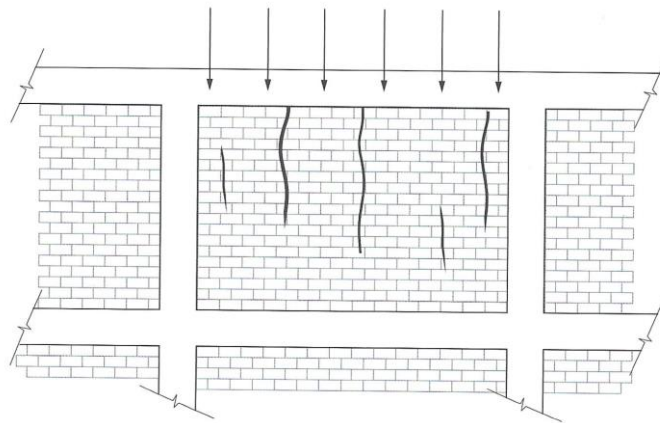


Fonte: Thomaz (2020, p.95).

2.4.2 Fissuras por deformabilidade das estruturas - Sobrecargas

Na atuação da compressão dos componentes de alvenaria, provenientes de sobrecargas uniformemente distribuídas, as fissuras poderão se manifestar em dois tipos de configurações, podendo ser verticais e/ou horizontais. As verticais, como na figura 11, devido às tensões de compressão ou flexão dos componentes da alvenaria, resultam de deformações das argamassas (CAPORRINO, 2018; THOMAZ, 2020).

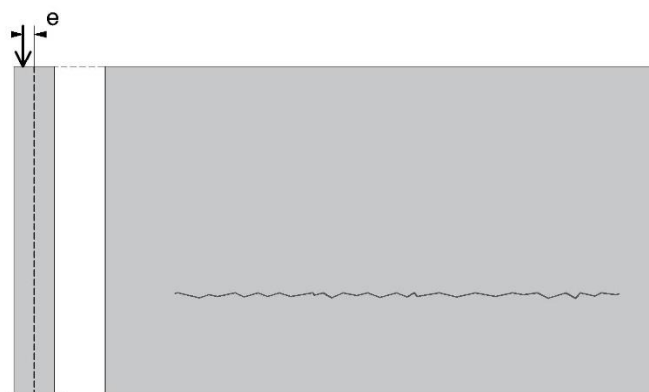
Figura 11 - Fissura de sobrecarga vertical uniformemente distribuída



Fonte: Caporrino (2018, p.45).

Representado na figura 12, as fissuras devido a flexo-compressão da parede pela deformação dos elementos estruturais, provenientes da ruptura da argamassa de assentamento ou dos elementos cerâmicos (THOMAZ, 2020).

Figura 12 – Fissuras horizontais de sobrecargas e/ou flexo-compressão



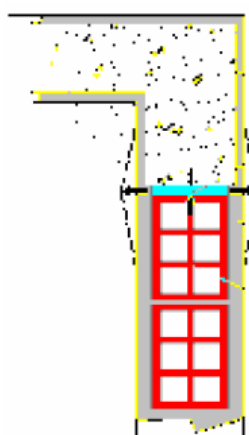
Fonte: Adaptado de Thomaz (2020, p.74)

Além das fissuras por sobrecargas nas alvenarias, podem ocorrer outros fenômenos como destacamento e esmagamento dos blocos e descolamento dos revestimentos (DALDON, 2008).

2.4.3 Ruptura das alvenarias

Devido à sobrecarga uniformemente distribuída das estruturas e suas deformações, imposta diretamente à alvenaria, os tijolos ou blocos cerâmicos com furos horizontais podem sofrer rupturas, ocorrendo o descolamento dos revestimentos (figura 13 e 14), e o comportamento frágil das vedações (HENZ, 2009). Será melhor detalhado no próximo capítulo.

Figura 13 – Descolamento do revestimento e fissuração no encunhamento



Fonte: HENZ (2009, p.39).

Figura 14 – Fissura e ruptura dos blocos



Fonte: Thomaz (2020, p.96).

A resistência e a qualidade dos materiais que compõem as alvenarias são fatores condicionantes, pois a ruptura das alvenarias ocorre pela compressão da parede. (MAGALHÃES, 2004).

A atuação desta sobrecarga nos blocos cerâmicos de furos verticais pode ocasionar o esmagamento de blocos, por tração das nervuras internas, provocando a ruptura do componente conforme, ocasionado pela deformação da argamassa de assentamento, conforme figura 15 (THOMAZ, 1989 *apud* DALDON, 2008).

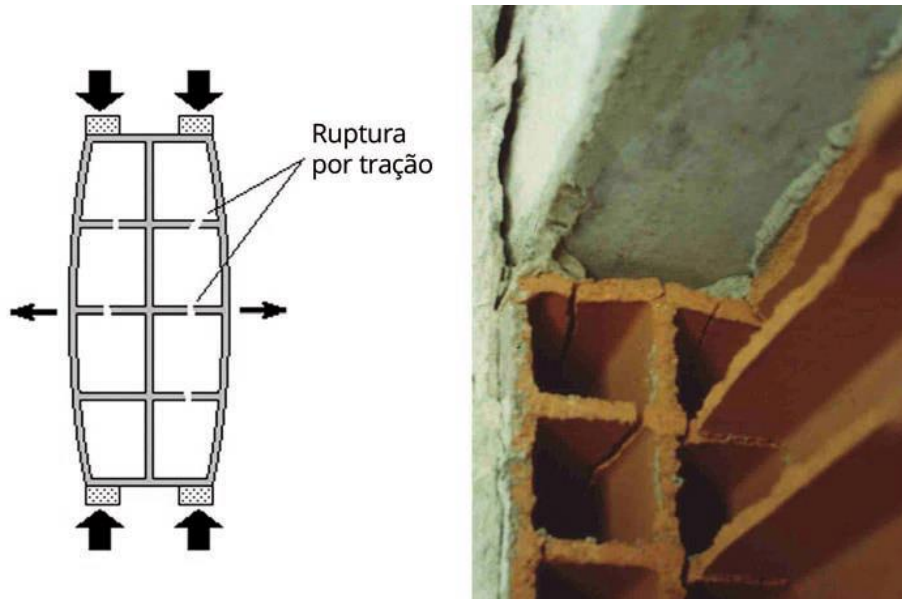
Figura 15 – Deformação transversal da argamassa de assentamento



Fonte: Thomaz (2020, p.75).

Atualmente, algumas construtoras estão substituindo a argamassa de assentamento por cordões de massa nas extremidades dos blocos. A deformação da estrutura, por compressão na alvenaria, ocasiona o processo de ruptura por tração das nervuras externas dos blocos cerâmicos. Na figura 16 estão representadas as áreas que sofrem a tensão de compressão, resultando na tendência de flambar a face externa do bloco, ocasionando a ruptura. (THOMAZ, 2020).

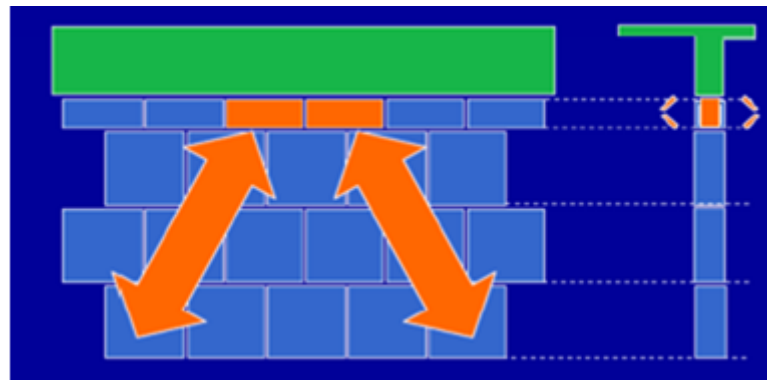
Figura 16 – Ruptura por tração nas alvenarias



Fonte: Thomaz (2020, p.97)

Daldon (2008) observa, ainda, que na última fiada o bloco canaleta expulsa os tampos (figura 17), pois tem menor resistência à compressão que os blocos de vedação.

Figura 17 – Ruptura do bloco canaleta



Fonte: Unisinos (2019).

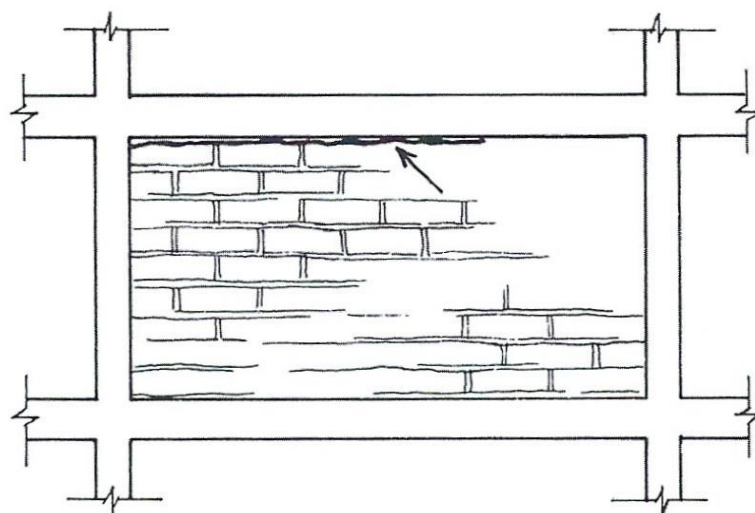
Com o intuito de minimizar essas manifestações patológicas, os blocos de vedação foram substituídos por blocos estruturais nas edificações de muitas construtoras, passando a ocorrer ruptura total, comprometendo o desempenho total da parede. O encunhamento flexível com módulo de elasticidade alto foi indicado por vários profissionais, com a finalidade de absorver as tensões transmitidas à parede, pretendendo-se evitar o colapso total (THOMAZ, 2020).

2.4.4 Fissuras e descolamento por falhas no encunhamento

Uma das anomalias causadas pela execução precoce do encunhamento é o fenômeno do recalque por retração de secagem da argamassa de assentamento e, conseqüentemente, o abatimento da alvenaria, ocasionando o descolamento da argamassa de encunhamento e o fundo de viga ou laje, e a manifestação patológica de fissura ficando evidenciada na alvenaria (FRIEDERICH; SANTOS, 2020).

Para Thomaz (1989) *apud* Sena et al. (2020), o destacamento entre a alvenaria e a estrutura, apresentada na figura 18, é induzido pelo o encunhamento com materiais inadequados ou executados precocemente.

Figura 18 – Fissura pelo encunhamento precoce



Fonte: Sena, et al. (2020, p.136).

As fissuras na região do encunhamento, como mencionado no capítulo anterior, comprometem a estanqueidade das alvenarias de vedações externas, devido à penetração de água para o interior da edificação. O seu reparo é considerado uma manifestação patológica em alvenaria, com grande dificuldade de execução, pois é necessário o reparo pela parte externa e na parte interna da parede, além de várias outras etapas, e cada uma obedecendo o tempo de cura dos produtos para um perfeito acabamento (HENZ, 2009).

Outro fator muito importante é o espaçamento entre o topo da alvenaria e a estrutura, o espaçamento mínimo implica na ineficiência do encunhamento em absorver os esforços de compressão devido à deformação lenta da estrutura, as

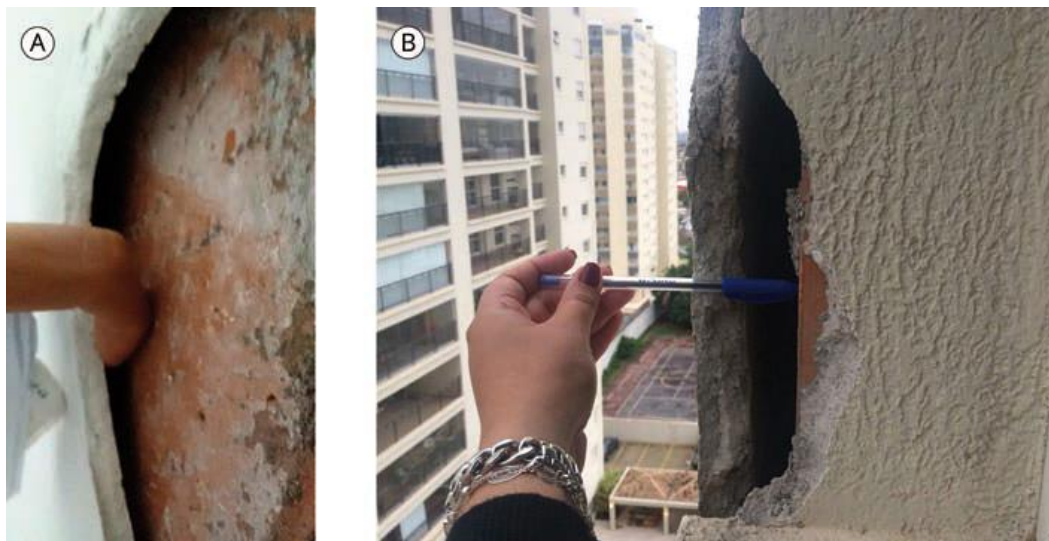
tensões são absorvidas parcialmente pelo encunhamento e as outras sendo transferidas para a alvenaria (THOMAZ, 2020; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016). O encunhamento absorve estas tensões e se deforma na transversal, enquanto o revestimento em argamassa faz um esforço de tração, resultando nas fissuras e influenciando nos descolamentos dos revestimentos. As figuras 19 e 20 ilustram essas situações (HENZ, 2009).

Figura 19 – Fissuras e descolamento do revestimento



Fonte: THOMAZ (2020, p.99).

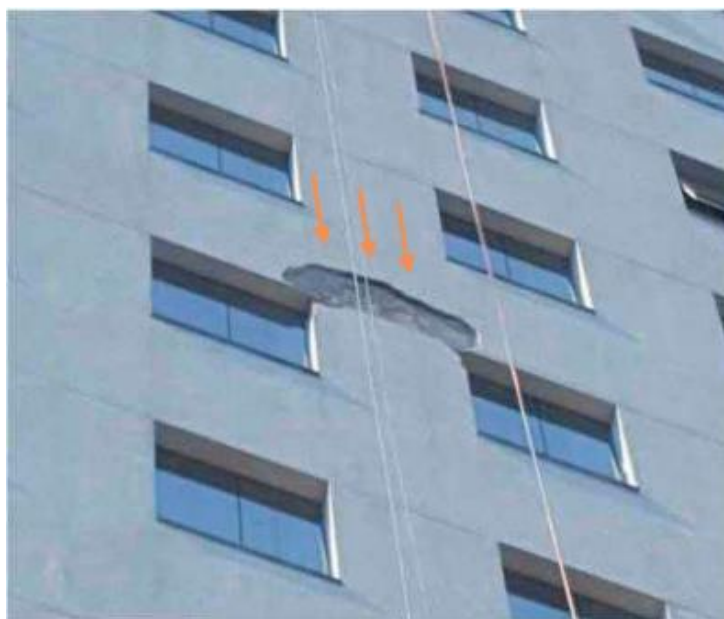
Figura 20 – Flambagem dos revestimentos (A) gesso na parede interna (B) revestimento argamassado na fachada



Fonte: THOMAZ (2020, p.99).

Os descolamentos das argamassas ou outro material de revestimento nas fachadas, além da flambagem, podem causar a queda do material (figura 21), sendo um perigo para os usuários do edifício ou pedestres que circulam em calçadas (FRIEDERICH; SANTOS, 2020).

Figura 21 – Queda do material de revestimento em fachada



Fonte: FRIEDERICH; SANTOS (2020, pág. 2.941).

2.4.5 Fissuras higrotérmicas

As fissuras higrotérmicas são as de origem de movimentações térmicas e higroscópicas. (SENA et al., 2020). As propriedades físicas dos materiais que formam o sistema de alvenaria e estrutura são diferentes. (CAPORRINO, 2018; SENNA et al., 2020). Os coeficientes de dilatação térmica, módulo de deformação e teor de umidade de alguns materiais determinados pela BRE (1979b), identificados por Thomaz (2020) e apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades Higrotérmicas

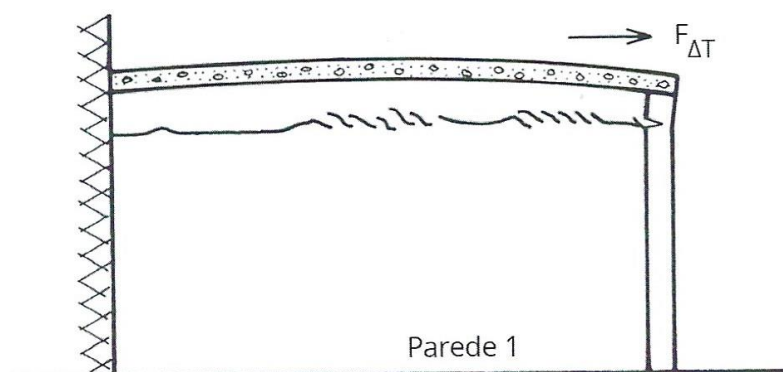
Material	Coeficiente de dilatação térmica linear (°C x 10 ⁻⁶)	Movimentação devida à umidade (%)		Módulo de deformação (kN/mm ²)
		Reversível	Irreversível (+) expansão (-) contração	
Granito	8-10			20-60
Calcário	3-4	0,01		10-80
Gesso - estuque	16-18	0,07		1,5-4
Placas de gesso	18-21			16
Argamassa	10-13	0,02-0,06	0,04-0,10(-)	20-35
Concreto (seixo rolado)	12-14	0,02-0,06	0,03-0,08(-)	15-36
Concreto (brita)	10-13	0,03-0,10	0,03-0,08(-)	15-36
Concreto celular	8	0,02-0,03	0,07-0,09(-)	1,4-3,2
Cimento com fibras de vidro	7-12	0,15-0,25	0,07(-)	20-34
Blocos de concreto	6-12	0,02-0,04	0,02-0,06(-)	10-25
Bloco de concreto celular	8	0,02-0,03	0,05-0,09(-)	3-8
Bloco ou tijolos barro cozido	5-8	0,02	0,02-0,07(+)	4-26

Fonte: Adaptada de Thomaz (2020).

Caporrino (2018, p.82), enfatiza as prováveis causas das fissuras higrotérmicas, atuando com ou sem simultaneidade: “Impermeabilização inadequada; execução precoce do encunhamento; presença de água nos componentes.”

As movimentações térmicas, geralmente nos pavimentos superiores, são movimentações de dilatação e retração dos materiais, onde podem aparecer fissuras, descolamento da estrutura e alvenaria, segundo Caporrino (2018) e Sena et al. (2020). Thomaz (2020) aponta que diversos autores relatam ocorrência de fissuras em alvenarias, por tensões de tração e de cisalhamento, através da dilatação e abaulamento de lajes planas, duas configurações típicas no topo da parede paralelamente à laje. Na figura 22 a fissura indica a direção do sentido da movimentação térmica em forma de escama.

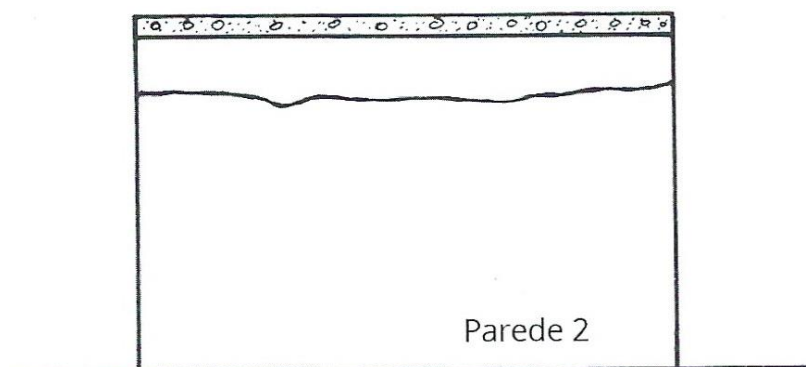
Figura 22 - Fissura paralela ao comprimento da laje, em forma de escama



Fonte: Sena et al. (2020, p.124).

Já na figura 23, a fissura está bem definida no topo da parede, reforçando os esforços de tração.

Figura 23 – Fissura paralela à largura da laje



Fonte: Thomaz (2020, p.22).

As características das fissuras higroscópicas são semelhantes às de movimentações térmicas, à expansão e retração dos elementos, variando a volumetria, causando as deformações (CAPORRINO, 2018; LORDSLEEM JR., 1997; MAGALHÃES, 2004; THOMAZ, 2020).

A expansão é a causa das fissuras higroscópicas, os componentes construtivos se expandem com a absorção da umidade, conforme o teor de umidade absorvido dos materiais, através da capilaridade e porosidade. (MAGALHÃES, 2004; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016). Os materiais estabilizam-se com o tempo até atingir a umidade de equilíbrio. Thomaz (2020) destaca os estudos realizados por Pfeffermann em 1968, onde ocorre a umidade higroscópica de equilíbrio de alguns materiais em

função da umidade relativa do ar, representados na tabela 4, originados de experimentos realizados na Holanda.

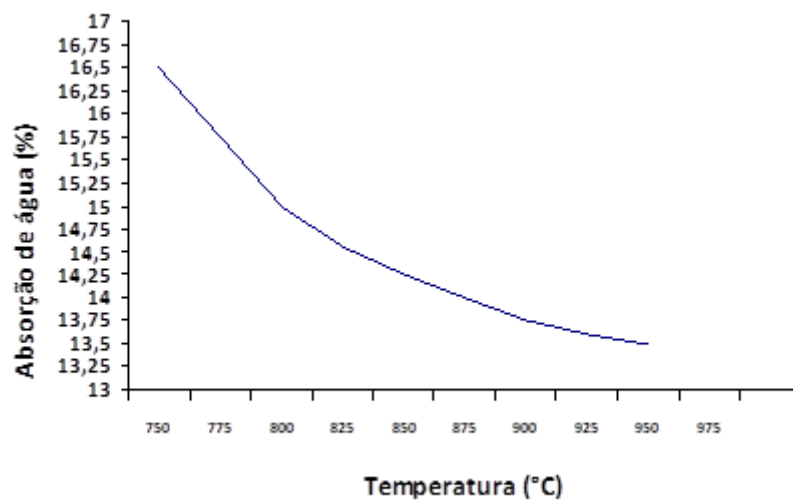
Tabela 4 – Umidade higroscópica de equilíbrio

Material	Umidade higroscópica de equilíbrio (%)		
	em função da umidade relativa do ar		
	U.R. = 40%	U.R. = 65%	U.R. = 95%
Cerâmica	0	0	1
Concreto normal	3	4	8
Concreto celular	2	3	12
Madeira	8	12	22

Fonte: Adaptado de Thomaz (2020).

Cruz et al. (2013), realizou estudo de Expansão por Umidade (EPU) para identificar o aumento das dimensões dos materiais cerâmicos em diferentes temperaturas de queima. Na figura 24, estão apresentados resultados obtidos para formulação da cerâmica de 90% argila e 10% rocha. Nesta pesquisa concluiu-se que as cerâmicas bem queimadas absorvem menos água, se expandindo menos.

Figura 24 - Absorção de água para os corpos de prova queimados à 750, 800, 850, 900 e 950°C



Fonte: Adaptado de Cruz et al. (2013).

Porém, Ércio (2020, p.38) classifica que os resultados de EPU de 0,03 a 0,06% de absorção são altos para as cerâmicas bem queimadas, o módulo de deformação é elevado a partir de 0,03 ou 0,04%, gerando o rompimento e esmagamento localizados dos blocos cerâmicos.

2.5 Ligação da estrutura e topo da alvenaria (encunhamento)

A região da ligação entre a alvenaria e fundo de viga ou laje é conhecida como: fixação superior, encunhamento, aperto, ligação de topo e ligação da última fiada (DUARTE, 2015; SENA et al., 2020; THOMAZ et al., 2017) ou seja, é a ligação de componentes de diferentes características e comportamentos (SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016).

Com o surgimento das edificações em concreto armado, houve a necessidade da ligação entre a alvenaria e a estrutura, há indícios que o encunhamento iniciou sua execução em 1930, segundo Daldon (2008) apud de Henz (2009), sendo a primeira técnica utilizada de tijolos cerâmicos inclinados a 45°.

As argamassas para encunhamento tem a finalidade de ligação dos sistemas e função de fechar o espaço entre a alvenaria de vedação e a estrutura, distribuir e absorver as tensões e esforços da estrutura sobre a alvenaria (CAPORRINO, 2018).

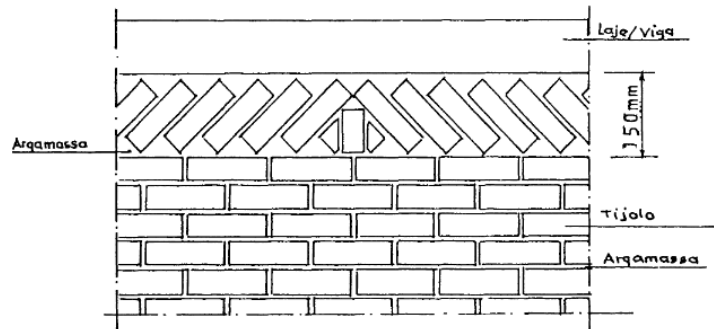
Neste espaço preenche-se o material de fixação, através de tijolos a 45°, cunhas de concreto, argamassa de encunhamento ou polímeros, e deve ser totalmente preenchido no interior da junta, sem vazios, evitando-se o destacamento dos componentes (DALDON (2008); THOMAZ et al., 2009).

Nos projetos de vedação é preciso levar em consideração as interfaces do sistema como, por exemplo, qual o tipo de ligação com a estrutura, capaz de absorver as deformações, melhorando o desempenho das vedações (PEÑA, 2006).

De acordo com a NBR 8545 (ABNT, 1984), item 4.1.17, as execuções das alvenarias devem seguir alguns critérios e cuidados preliminares. O modo de travamento entre a alvenaria e a estrutura são representados em três maneiras:

- Tijolos em 45°, como mostra na figura 25, tijolos maciços ou 21 furos, assentados com argamassa e o espaço a ser preenchido de 150mm entre a alvenaria e o fundo de laje ou viga.

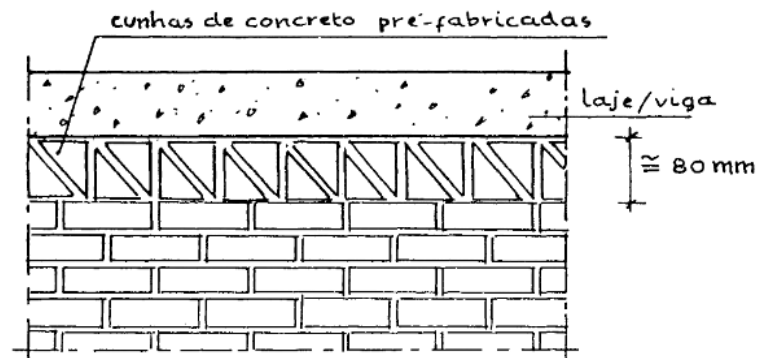
Figura 25 – Encunhamento - tijolos a 45°



Fonte: ABNT NBR 8545 (1984, pág.8)

- Cunhas de concreto pré-fabricado, o espaço a ser preenchido entre o fundo da laje ou viga e a alvenaria, de aproximadamente 80mm, como representado na figura 26.

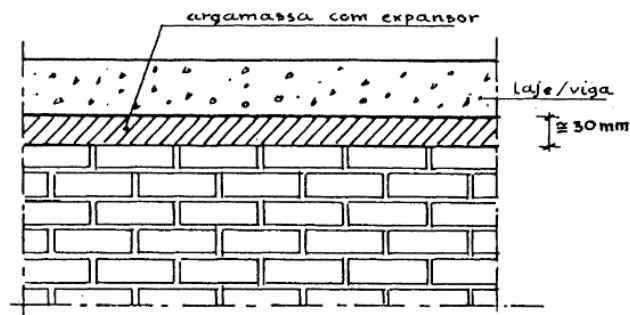
Figura 26 – Encunhamento cunha pré-fabricada de concreto



Fonte: ABNT NBR 8545 (1984, pág.8)

- Argamassa com expensor, argamassa com aditivo expensor com aproximadamente 30mm (figura 27), o preenchimento do espaço entre a alvenaria e o fundo de laje ou viga.

Figura 27 – Encunhamento argamassa com expensor



Fonte: ABNT NBR 8545 (1984, pág.8)

Os encunhamentos realizados com tijolos ou cunhas de concreto, para Franco (2004) *apud* Friederich (2020), atuam como travamento da alvenaria evitando a movimentação entre os pilares, elucidando a norma NBR 8545, além de salientar que o modo de execução deve garantir o travamento da estrutura, e o preenchimento do espaço após 7 dias de execução da alvenaria, observando-se que para a obra com mais de um pavimento, é necessário executar após o pavimento construído acima, respeitando os mesmos prazos (ABNT, 1984).

Esta norma atualmente está em revisão, pois não leva em consideração as especificações da argamassa e nem parâmetros ou a aplicação adequada de cada modo de execução, além de não classificar o encunhamento, se é rígido, flexível ou semiflexível, em relação à deformação do sistema, importante para a função que o encunhamento exerce de absorver os esforços de deformação do sistema (CAPORRINO, 2018; DALDON, 2008; OLIVEIRA, 2019; THOMAZ; MEDEIROS; FRANCO, 2007).

Em contrapartida, Lordsleem Jr. et al., (2000) classifica estes 3 modos de ligações rígidas para alvenaria contraventada, ligações que absorvem as deformações para alvenarias que não são contraventadas, mas possuem estruturas pouco deformáveis ou deformáveis, que necessitam de ligações mais resilientes (HENZ, 2009).

Para ilustrar esses argumentos, Thomaz, Medeiros e Franco (2007) consideram que as estruturas de hoje são mais flexíveis que as de antigamente, sendo necessário material resiliente. Portanto, as cunhas de concreto e tijolos maciços a 45° não são mais recomendados para as estruturas de hoje.

Muitos dos trabalhos comentados embasam a mesma teoria, de que as estruturas são mais deformáveis e não deve ser utilizado o travamento dela com a alvenaria de vedação, pois a alvenaria sofre compressão devido às tensões que não pode suportar (FRIEDERICH; SANTOS, 2020).

Destaca-se o trabalho de Friederich e Santos (2020) e de Daldon (2008), onde considera-se a classificação do tipo de encunhamento e a escolha do material indicado, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Classificação do encunhamento e materiais

Encunhamento	Materiais
Com pré-tensionamento (rígido)	Tijolos inclinados a 45°
	Cunhas de concreto
	Argamassa expansiva
Sem pré-tensionamento (resiliente)	Argamassa de baixo módulo de elasticidade
Plástico	Espuma de poliuretano

Fonte: Adaptado de Friederich; Santos (2020)

2.5.1 Características das argamassas de encunhamento

A argamassa resiliente, também conhecida como flexível, tem a capacidade de absorver as tensões e deformações, sem sofrer ruptura e retornar às suas dimensões originais, conhecida como Lei de Hooke. Estas argamassas são indicadas para estruturas mais deformáveis, pois quanto mais deformável a estrutura, mais resiliente deve ser a argamassa (MADIA, 2012).

As fissuras neste tipo de encunhamento, devido à deformação lenta da estrutura e à aderência da argamassa, são de menor incidência, segundo Sabattini (1989) *apud* Hertz (2002). A mesma autora cita a argamassa com baixo módulo de elasticidade, alta plasticidade e aderência inicial. Argamassas com baixa resistência mecânica de flexão e compressão, influencia no módulo de elasticidade e no traço ideal de cimento, areia e pasta de cal ou cola PVA, massa “podre” (SILVA, 2008; THOMAZ, 2007).

A alta plasticidade influencia na trabalhabilidade da argamassa, o excesso da plasticidade prejudica a execução. O fator água x cimento pode influenciar, mas os aditivos químicos também auxiliam no aumento da trabalhabilidade, onde o aditivo plastificante e de incorporador de ar tem a função de aumentar o índice de vazios, ocasionando maior porosidade, menor resistência mecânica e densidade (OLIVEIRA, 2019).

LIMA FILHO (2018, p. 4) define que:

A trabalhabilidade reflete, em termos práticos, as facilidades do operário durante as operações de manuseio e aplicação das argamassas. Em geral, uma falta de trabalhabilidade da argamassa é traduzida em aspectos como uma argamassa áspera, muito seca ou muito fluida, com segregação e exsudação excessiva, com dificuldade de espalhar sobre a base de

aplicação, falta de “liga”, falta de adesão inicial, e em certas dificuldades para início das operações de acabamento (ou “puxa” muito rápido ou muito lento). Muitas dessas avaliações são feitas a partir de procedimentos empíricos realizados pelos operários envolvidos diretamente no processo de execução do revestimento.

Ainda no estudo de Lima Filho (2018) menciona que a utilização de aditivo incorporador de ar na argamassa para encunhamento, ocorrendo uma microfissuração nas bolhas de ar, devido aos espaços vazios no interior, acarretando na redução da densidade e diminuindo o módulo de elasticidade, melhorando a característica de resiliência da argamassa.

As argamassas classificadas como rígidas são ricas em cimento. Já nas argamassas expansivas, onde são adicionados os aditivos expansores, também chamados de aditivos compensadores de retração, ocorre a retração plástica pela hidratação do cimento, e além de propriedades expansivas, esta também é plastificante (DALDON, 2008). Esta argamassa complementa a rigidez da parede de vedação e propicia o contraventamento da estrutura, mas cuidados devem ser tomados para o não surgimento de manifestações patológicas, comprometendo o sistema (HENZ, 2009).

Como já citado, na ausência de uma norma brasileira para argamassa de encunhamento específico, determinando as características e propriedades para cada sistema estrutural, é utilizada a ABNT NBR 13281:2018 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos, que aponta no item 3.2.1.3 a argamassa para fechamento da alvenaria de vedação na última fiada: “argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento): Argamassa indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes”, porém estas características não são específicas para a argamassa com a finalidade de encunhamento específico e sim para argamassa de assentamento e revestimento (ABNT, 2018).

Na falta destas características no mercado brasileiro, encontra-se materiais diversificados de argamassas industrializadas, dados apresentados no quadro 3, podendo observar as variáveis de composição dos produtos, aplicação, rendimentos e modo de preparo (OLIVEIRA et al., 2020).

Quadro 3 – Informações e recomendações das fichas técnicas da argamassa industrializada.

(continua...)

Empresa e data	Composição	Preparo	Aplicação
ARG 1 – 27/09/18	- cimento Portland; - cal hidratada CH-II; - blend de agregados minerais calcários e quartzoso; - filer mineral; - aditivos químicos compensadores de retração.	4,4 a 4,8 litros água p/saco de 25kg. Mistura obrigatoriamente em betoneira ou misturador de argamassa, nunca manualmente.	Espessura ideal de 2 a 3cm, injetar argamassa até preencher completamente o espaço existente, compactando totalmente o material no interior vazio.
ARG 2 – Não tem	- cimento Portland; - cal hidratada; - areia quartzosa classificada; - aditivos químicos não tóxicos. - Expansor	Utilizar entre 4 e 4,5 litros de água por saco de 25 kg; Homogeneizar a mistura evitando a formação de grumos.	Estrutura finalizada após 90 dias e do último pavimento até o térreo. Espessuras de entre 20 e 30mm de argamassa, pois é dentro dessa faixa que se obtém o melhor desempenho do produto em relação à resistência e à compressão;
ARG 3 – 23/03/21	- cimento Portland; - agregados minerais com granulometria controlada; - aditivos químicos.	Quantidade de água conforme a sacaria com teor de 12,8% a 13,2% e o misturador utilizado a temperatura 18°C e 25°C. Mistura manual ou mecânica argamassadeira, o tempo varia conforme o tipo de equipamento e quantidade de saco deve ser controlado pelo operador.	Espalhar a argamassa sobre o bloco pressionando-o para que haja uma boa aderência argamassa e bloco, retirando o excesso com a colher. Cuidados temperatura ambiente superior a 30°C, bloco superior 28°C e umidade relativa do ar inferior a 40%. Espessura média de junta acabada 1,0 cm +/- 0,3 cm.
ARG 4 – 10/2020	- cimento portland; - filer carbonático; - agregados mineiras; - aditivos de altíssima qualidade.	Saco de 20 kg com 2,7 litros + 5% de água, até a homogeneização (adicione primeiro a água e depois o produto), utilizar misturador de baixa rotação para obter uma pasta homogênea e pastosa, sem a presença de grumos. Deixe descansar de 10 a 15 minutos e misture novamente antes da aplicação.	Preencher a folga do encunhamento por um lado da parede, com colher de pedreiro e compactando-a com um soquete de madeira, completar pelo outro lado após 12 horas. Executar o encunhamento em grupos de 3 pavimentos e iniciar de cima para baixo, com intervalo de 24 horas entre eles, se possível iniciando pelo último pavimento.

(conclusão)

Empresa e data	Composição	Preparo	Aplicação
ARG 6 – Não tem	- Cimento Portland; - Cal Geo.; - Areias selecionadas; - Aditivos químicos.	5,5 a 6,5L de água p/saco de 40 kg. Misturar em argamassadeira por um tempo mínimo de 5 minutos ou até ficar homogênea.	Disposto na norma técnica ABNT NBR7200* e NBR15961-2**
ARG 7 – 13/01/17	- Cimento Portland - Agregados selecionados - Aditivos especiais	2,5l de água limpa, e adicionar lentamente a argamassa misturando até a adição total, após misturar até obter uma massa homogênea e pastos, recomenda-se utilizar betoneira, ou misturador mecânico até a perfeita homogeneização	Utilizando uma colher de pedreiro preenchendo e compactando o máximo possível a argamassa dentro do vão (encunhamento). Complementar o outro lado da parede após 12 horas.
*NBR7200 Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Procedimento; **NBR15961-2 Alvenaria estrutural – Blocos de concreto; OBS- Dados retirados das fichas técnicas dos produtos das empresas estudadas.			

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2020 pág.1884).

No quadro 4 a forma de aplicação e modo de preparo de alguns aditivos expansores comercializados no Brasil, conforme ficha técnica dos produtos.

Quadro 4 – Forma de aplicação e modo de preparo do aditivo expensor

Empresa data	Utilização	Modo de preparo	Aplicação
AD 1 – Não tem	- Encunhamento em geral; - Preenchimento em geral, com argamassa tipo dry-pack (consistência seca)	Traço 1:6, areia média limpa e 1% do aditivo sobre a massa de cimento, misture por 3 minutos e depois adicione água até atingir uma consistência seca para aplicação.	Aplicar a argamassa pressionando-a no interior da fresta para um perfeito preenchimento dos espaços vazios. Após de 14 dias do assentamento da alvenaria.
AD 2 – 01/06/13	-Argamassa de encunhamento; - Pasta e argamassa de enchimento de espaços vazios; -Injeção de pasta de cimento em fundações, cavidades e fissuras em rochas.	Encunhamento –traço 1:3 de areia média lavada, 1% sobre o peso do cimento	Adicionado ao cimento seco, a mistura preferencialmente com agitação mecânica (betoneira) 40% a 45% de água em relação ao cimento, consistência plástica/seca
AD 3 – abril/15	- Para diminuir a retração plástica; - Pasta para bainhas de protensão; - Concretos, argamassas e pasta com menor fator água/cimento	0,5% a 1% sobre a massa do cimento	Nas áreas preenchidas deve estar seco, limpo, isento de óleos e desmoldantes, pó e partículas soltas. Processo expansivo em 20 minutos após mistura.
OBS- Dados retirados das fichas técnicas dos produtos das empresas estudadas.			

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2020 pág.1884).

2.5.2 Princípios de execução

A perfeita execução do encunhamento tem muitas variáveis. Os estudos de Daldon (2008), realizados nos canteiros de obras, mostram que é necessário o acompanhamento desde o início da obra, pois a estrutura pode ser bem projetada e dimensionada, mas se a execução sofrer alguma irregularidade, se por exemplo a viga e/ou laje não estiver no nível e/ou ceder na concretagem, conseqüentemente, o nível inferior pode ser menor ou maior que o restante da estrutura, resultando que o espaçamento da região do encunhamento seja prejudicado.

As dimensões dos blocos cerâmicos de vedação, podem variar as medidas das faces, de 3 mm a 5 mm. Conforme a NBR 15270 - parte 1 (ABNT, 2017), essas variações na altura podem comprometer a espessura do encunhamento prevista em projeto (DALDON, 2008).

Outra variável em obra é a variabilidade da espessura das juntas horizontais das argamassas de assentamento, conforme a NBR 8545:1984, no item 5.1, considera-se o máximo de 10 mm, nem sempre utilizado no canteiro de obras, comprometendo a sistema de vedação e o espaçamento do encunhamento (DALDON, 2008; SILVA, 2003a).

As características mecânicas e os traços das argamassas para encunhamento não são suficientes para isentar as manifestações patológicas na região. Outros aspectos devem ser levados em consideração, como:

- a) Quanto à execução, maneira de executar corretamente;
- b) Quanto ao prazo, respeitando o tempo de cura dos elementos;
- c) Quanto à ordem, iniciar os pavimentos de cima para baixo;
- d) Quanto ao tipo de material, compatível ao sistema, levando em consideração as deformações das estruturas e a resistência dos tijolos e blocos de vedação.

São cuidados essenciais para que o SVVIE atinja o desempenho e VU do sistema. (DALDON, 2008; FRIEDERICH; SANTOS, 2020; HENZ, 2009; OLIVEIRA, 2019; CAPORRINO, 2018).

Na figura 28 está apresentado o espaço na região do encunhamento para a execução do preenchimento com argamassa para encunhamento.

Figura 28 – Espaçamento da alvenaria e fundo de viga (encunhamento)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Estudos realizados destacam a conformidade de alguns aspectos e discordância em outros. No quadro 5 observa-se, entre os profissionais da área da construção civil e documentos técnicos, os procedimentos, cuidados e o tipo material na execução do encunhamento (OLIVEIRA et al., 2020).

Quadro 5– Procedimento e cuidados para execução do encunhamento

(continua...)

COMO EXECUTAR O ENCUNHAMENTO			
Fonte de pesquisa	Espaçamento alvenaria X laje ou fundo de viga	Preenchimento do espaço de encunhamento	Tipo de material para o encunhamento
Código de Prática de Obras nº 1 (THOMAZ, E.; FILHO, C.V.M.; CLETO, F.R.; CARDOSO, F.F., 2009)	1,5 a 3 cm	Projetista defini se preenche totalmente ou dois cordões laterais.	Não deve ser rica em cimento e/ou formuladas com aditivos expansores.
Téchne, edição nº120 (MEDEIROS, 2007)	2 a 3 cm (Jonas Medeiros)	- Face do bloco vazado dois cordões s/vazios; - Face do bloco maciço toda junta. (Jonas Medeiros)	Materiais resilientes: massa podre, argamassa com elastômero, esferas de isopor, placas de neoprene, cortiça ou isopor, poliuretano expandido e outros. (Ércio Thomaz)
Patologia em Alvenarias (CAPORRINO, 2018)	2 a 3 cm	Camada de argamassa espessa e uniforme	Argamassa resiliente, seja flexível, alta plasticidade, aderência e baixo módulo de elasticidade

(conclusão)

Fonte de pesquisa	Espaçamento alvenaria X laje ou fundo de viga	Preenchimento do espaço de encunhamento	Tipo de material para o encunhamento
Trabalho de Conclusão Graduação - UFRGS (DALDON, 2008)	2 a 3 cm (Nakaguma)	—	- Encunhamento rígido: argamassa expansiva, cunhas de concreto, tijolos inclinados a 45°; - Encunhamento resiliente: argamassa de baixo módulo de elasticidade; - Encunhamento plástico: espuma de poliuretano
Assoc. Brasileira de Normas Técnicas (NBR 13281, 2018)	≈ 30mm (figura 14a pág.8)	—	Argamassa com expansor (figura 14a pág.8)
Artigo científico CBPAT 2020 (FRIEDERICH, 2020)	1,5 a 3cm	Bem compactado no interior da junta ou utilização de bisnaga, paredes fachada preencher até a metade na face interna, depois pela parte externa	- Argamassa rica em cal 1:3:12 ou espuma de poliuretano, não utilizar massa rica em cimento ou com aditivos expansores.
Trincas em edifícios, causa prevenção e recuperação (THOMAZ, E 2020)	3 a 4 cm	Preenchimento total do vão e a argamassa de revestimento com friso de 2cm podendo ficar abertos ou selante flexível acrílico	Argamassa flexível com pérolas de isopor e resina acrílica ou PVA

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2020, pág.1882).

Oliveira (2020) observa, ainda, que além da maneira de executar o encunhamento, é necessário observar quando executar e quais prazos a considerar para a execução, pois isto também possui divergência. O quadro 6 mostra os prazos a considerar para a execução do encunhamento.

Quadro 6 - Prazos a considerar para execução do encunhamento

(continua...)

QUANDO EXECUTAR O ENCUNHAMENTO			
Fonte de pesquisa	Após o término da Alvenaria	Após o término da Estrutura	Após a elevação da parede do último pavimento a ser encunhado
Código de Prática de Obras nº 1 (THOMAZ, E.; FILHO, C.V.M. ; CLETO, F.R.; CARDOSO, F.F., 2009)	10 dias	—	14 dias
Téchne, edição nº120 (MEDEIROS, 2007)	3 pavimentos finalizados	60 dias	14 dias
Seminário Desempenho de Sistemas de Alvenaria de Blocos Cerâmicos (SANTOS, 2018)	28 dias	120 dias concretagem	28 dias
Patologia em Alvenarias (CAPORRINO, 2018)	14 dias	60 dias	30 dias e fixá-lo após a instalação do telhado

(conclusão)

Fonte de pesquisa	Após o término da Alvenaria	Após o término da Estrutura	Após a elevação da parede do último pavimento a ser encunhado
Trabalho de Conclusão Graduação - UFRGS (DALDON, 2008)	2 semanas de intervalo (ErcioThomaz)	70 dias (Sebbatini)	—
Assoc. Brasileira de Normas Técnicas (NBR 13281, 2018)	7 dias (Item 4.1.17 pág.7)	—	7 dias após o pavimento do andar acima (item 4.1.18 pág.7)
Artigo científico CBPAT 2020 (FRIEDERICH, 2020)	28 dias	—	14 dias
Patologia das construções (SENA, et al 2020)	10 dias	—	14 dias
Trincas em edifícios, causas, prevenção e recuperação (THOMAZ, E 2020)	—	—	Retardar a execução o máximo possível e a alvenaria do topo a base do prédio ou pavimentos alternados

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2020, pág.1881).

2.5.3 Tratamento das fissuras no encunhamento

As fissuras na região de ligação entre a alvenaria e fundo de viga (encunhamento) podem ocorrer por diversos fatores, como citado anteriormente. Alguns procedimentos, cuidados e materiais devem ser previstos na fase de projeto, portanto, para as obras que serão executadas. Porém, existem obras antigas e/ou recentes, sem projetos e sem embasamento técnico em sua execução. Ao longo do tempo e uso das edificações podem ocorrer as manifestações patológicas, havendo a necessidade de técnicas de recuperação das anomalias (SILVA; PIRES SOBRINHO, 2016).

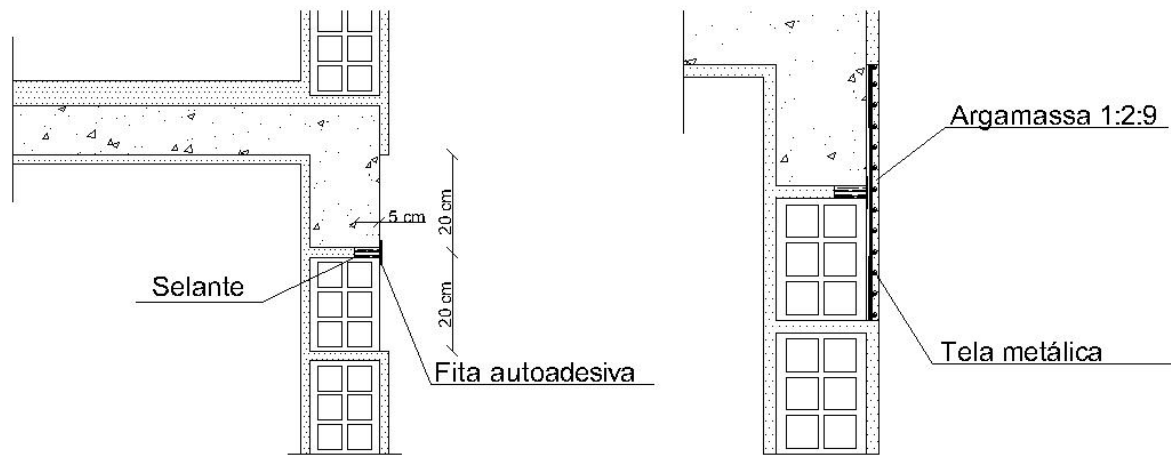
No caso das fissuras no encunhamento a primeira etapa é identificar a causa ou causas prováveis do surgimento da fissura e sanar os efeitos da causa e somente após aplicar a técnica de recuperação. Para Silva (2016), a técnica mais indicada compõe-se de quatro etapas, são elas:

- Remover o revestimento e limpar a área;
- Colocar argamassa polimérica com tela de poliéster, transpassando a fissura com 20 cm para cada lado;
- Recompôr a área com argamassa polimérica, fazendo o acabamento;
- Esperar, no mínimo, 21 dias para proceder emassamento e pintura.

Para Caporrino (2018), o reforço com tela é fundamental para a área de ancoragem ser bem executada; a tela deverá estar esticada e inserida no emboço. Além de ressaltar a importância de executar as soluções ou reparos necessários da causa da anomalia, podendo ser isoladas ou simultâneas.

Outro fator que precisa ser levado em consideração é se a fissura está ativa. Recomenda-se criar uma junta de movimentação onde ocorreu a fissura e a aplicação da bandagem de dessolidarização (figura 29) (THOMAZ, 2020).

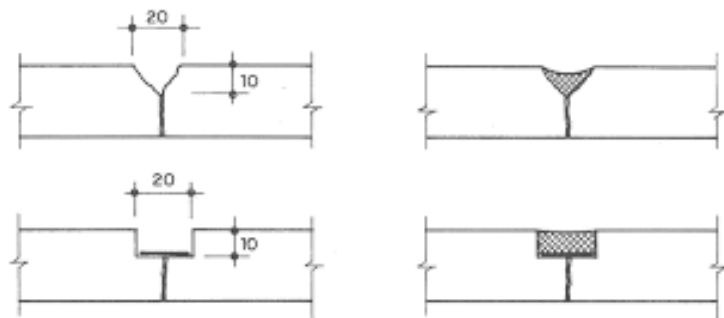
Figura 29 – Recuperação de fissura na fachada – bandagem de dessolidarização



Fonte: Adaptado de Thomaz, E. (2020, p.219).

Para fissuras ativas, efetuadas com selantes flexíveis se possível, deve-se abrir a região e aplicar o selante no local da fissura, conforme mostrado na figura 30, com 20cm de largura e 10mm de profundidade, aproximadamente (THOMAZ, 2020).

Figura 30 – Recuperação de fissura ativa com selante flexível



Fonte: Thomaz, E.(2020, p.221)

Já as fissuras com pouca movimentação, poderá tentar com o sistema de pintura da parede, reforçada com tela de polipropileno, poliéster (VP20 – 20 g/m²) ou náilon, com 10cm de largura aproximadamente, aplicando-se em cima tinta elástica a base de resina acrílica, de seis a oito de mão (THOMAZ, 2020), na tentativa de não executar um processo de recuperação mais prolongado.

3 METODOLOGIA

A partir da literatura estudada e da experiência profissional da autora, foi definido o processo de desenvolvimento da pesquisa, nas seguintes etapas.

- a) Determinação dos traços de argamassas para encunhamento;
- b) Análise das propriedades mecânicas e caracterização dos materiais das argamassas para encunhamento e espuma de poliuretano;
- c) Limitação do espaçamento entre a alvenaria e fundo de viga de concreto armado, com base em estudos de especificações técnicas determinados pela deformação da estrutura.
- d) Medição das variações de dimensões das argamassas de encunhamento e da espuma poliuretano até o cisalhamento da parede, e configurações das manifestações patológicas causadas nas paredes de alvenaria.
- e) Análise dos resultados das paredes ensaiadas, executadas com encunhamento de argamassa e espuma expansiva de poliuretano e parede executada sem o encunhamento.

3.1 Determinação dos traços e materiais para encunhamento

Conforme a NBR 13281 (2018, pág. 2), a definição de argamassa é

“Mistura homogênea de agregado(s) miúdos(s), aglomerantes(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos minerais, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

Desta forma, foi discriminado cada traço a ser analisado, de argamassa para encunhamento, e seus componentes de mistura, além da argamassa industrializada (E-ind), já com traço estabelecido pela empresa que comercializa o produto.

Para a argamassa com aditivo expensor, considerada rígida, o fabricante recomenda a utilização de 1% de aditivo em relação ao peso de cimento. Objetivou-se utilizar um percentual maior de 10% do aditivo recomendado, para avaliar o comportamento da argamassa, neste caso utilizando a argamassa misturada em laboratório, determinando o traço 1:3 (cimento: areia média) + 10% de aditivo em relação ao peso de cimento (E-ad).

Para as argamassas resilientes (flexível), foram misturadas em laboratório e determinados dois traços 1:1:6 (E-a1:1:6) e 1:2:9 (E-a1:2:9), cimento: cal hidráulica: areia média.

A preparação das argamassas e das paredes realizadas em laboratório, ocorreu em temperatura ambiente, respeitando os limites máximos e mínimos de $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$, estabelecidos no item 4.3.1 da NBR 16868-3 (ABNT, 2020), assim representando o mais próximo ao canteiro de obra.

Outro material que foi realizado os ensaios é a espuma de poliuretano, foi denominada E-esp.

3.2 Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa serão descritos na sequência.

- a) Areia média - Agregado miúdo mais utilizado nas argamassas, é um material de grãos minerais estáveis; o módulo de deformação, resistência mecânica e a retração são propriedades que o tipo de areia e sua granulometria pode influenciar; o módulo de finura é importante para a classificação da argamassa, neste caso, a areia média; a areia não pode apresentar impurezas ou material orgânico (HENZ, 2009).
- b) Cimento Portland CP-IV 32 – é um aglomerante, junto com a Cal; o cimento Portland pozolânico tem baixo calor de hidratação e alto teor de pozolana, entre 15 e 50%; a resistência da argamassa é responsabilidades deste aglomerante e a sua finura aumenta a trabalhabilidade da argamassa (HENZ, 2009).
- c) Cal hidráulica – é um aglomerante, a cal é obtida pela adição de cinzas minerais, e sua composição de cal livre, aluminatos e silicatos de cálcio foi escolhida por não precisar ocorrer a queima do produto antes da utilização, pois ela reage quimicamente com a água, processo semelhante ao cimento Portland. As argamassas compostas com a cal hidráulica apresentam resistências mecânicas mais baixas e bastante porosas, ideais para argamassa de encunhamento (SANTOS, 2017).
- d) Água – Deve-se usar água potável limpa e sem material orgânico, é responsável de combinar quimicamente os aglomerantes e proporciona a trabalhabilidade da argamassa. A relação água/cimento interfere nas

propriedades de endurecimento como porosidade, retração de secagem, resistência mecânica e absorção de água (HENZ, 2009; SANTOS, 2017).

- e) Aditivo expensor ou aditivo compensador de retração – Aditivo que reduz a retração de água durante a pega, aumentando a fluidez da argamassa aumentando a densidade e a resistência mecânica (SANTOS, 2017). São utilizados em pequenas quantidades modificando as propriedades no estado endurecido ou fresco, modificando as propriedades da argamassa (HENZ, 2009).
- f) Argamassa industrializada – Uma marca de argamassa, sua composição é variada, depende da marca encontrada no mercado.
- g) Espuma expansiva de poliuretano – Contém em sua composição química isocianato, polióis poliméricos e propelentes. Conforme dados obtidos pelo site da fabricante da espuma, o composto isocianato é muito utilizado na fabricação de espumas, de cor amarelada, e com o passar do tempo não perde as suas propriedades mecânicas, ele reage com outro composto que tenham átomos de hidrogênio ativo, como os polióis, que são muito utilizados em poliéster e espumas flexíveis de alta elasticidade. As espumas de poliuretano têm a capacidade de absorver grande parte das deformações do sistema, e são de material flexível (FRIEDERICH; SANTOS, 2020; SILVA, 2003).

3.3 Processo de mistura

Definidos os traços das argamassas para encunhamento e a escolha dos materiais, iniciou-se o processo de produção das argamassas e os ensaios determinados.

Para a produção de todas as argamassas foi utilizado o equipamento betoneira, de eixo inclinado, com capacidade de 120 litros. A escolha deste equipamento se deu por estar mais presente no canteiro de obras, sendo mais adequada a argamassadeira de eixo na horizontal, pois a argamassa apresenta menores quantidades de ar incorporado na mistura, neste caso, a argamassa para encunhamento pode ser beneficiada com a adição do ar incorporado na mistura, se tornando mais resiliente. (THOMAZ, 2020).

Os materiais secos foram homogeneizados durante 2 minutos no equipamento (figura 31a), acrescentado água gradativamente até completar 6 minutos, transformando-os em uma argamassa com consistência plástica (pastosa), como observado na figura 31b.

Figura 31 – Mistura das argamassas



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.4 Ensaios realizados

Todos os ensaios foram realizados nos laboratórios da UNISINOS, sendo eles o Laboratório de Materiais de Construção e o Instituto Tecnológico em Desempenho e Materiais de Construção – itt Performance.

Os ensaios foram realizados conforme metodologia adotada, baseada nas normas técnicas das argamassas, no estado fresco e estado endurecido, demonstradas na tabela 6. No estado fresco foram realizados ensaios para determinação do índice de consistência, densidade da massa e teor de ar incorporado. No estado endurecido, as propriedades estudadas foram de absorção de água, índice de vazios, massa específica, módulo de elasticidade dinâmico e as resistências mecânicas de compressão e tração na flexão.

Tabela 6 – Normas técnicas e ensaios realizados nas argamassas

Ensaio	Estado da argamassa	Normas Técnicas ABNT
Densidade de massa	Fresco	NBR 13278:2018
Índice de consistência	Fresco	NBR 13276:2016
Teor de ar incorporado	Fresco	NBR 16887:2020
Módulo de elasticidade dinâmico	Sólido	NBR 15630:2009
Absorção de água por imersão	Sólido	NBR 9778:2009
Índice de vazios	Sólido	NBR 9778:2009
Massa específica seca, saturada e real	Sólido	NBR 9778:2009
Resistência à tração na flexão	Sólido	NBR 13279:2005
Resistência à compressão	Sólido	NBR 13279:2005

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Também foi realizado ensaio de resistência de cisalhamento, ou compressão, das paredes de vedação, conforme ABNT NBR 16868-3:20 - Alvenaria estrutural – Parte 3: Método de ensaio. Foram utilizados blocos cerâmicos de furo na horizontal, de dimensões 14 cm x 19 cm x 29 cm (figura 32), de resistência a compressão 1,5 MPa, conforme ensaios realizados pelo fabricante, assentados com argamassa com traço 1:3:12 (cimento: cal hidráulica: areia média) e faces regularizadas com argamassa traço 1:2:8 com adição de 1% de aditivo compensador de retração.

Figura 32 – Bloco de vedação 14cm x 19cm x 29cm



Fonte: Cerâmica Construrohr (2021)

No Laboratório de Materiais de Construção Civil - LASE, foram realizados os seguintes ensaios:

- a) Ensaio de índice de consistência da argamassa, na mesa de espalhamento, dos 3 traços e da argamassa industrializada;
- b) Ensaio de determinação do teor de ar incorporado e densidade da massa no estado fresco, dos 3 traços e da argamassa industrializada;
- c) Ensaio de determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica, em 3 corpos de prova de 4cmx4cmx16cm, para os quatro tipos de argamassas, com o tempo de cura de 72h;
- d) Ensaio de módulo de elasticidade das argamassas aos 28 dias, em 3 corpos de prova de 4cmx4cmx16cm, para os quatro tipos de argamassas;

Foram realizados no Instituto Tecnológico em Desempenho e Materiais de Construção – IttPerformance os seguintes ensaios:

- a) Ensaio de resistência à tração na flexão, aos 28 dias, em 3 corpos de prova de 4cmx4cmx16cm, para cada traço de argamassa, e 2 corpos de prova 4cmx4cmx16cm da espuma expansiva de poliuretano;
- b) Ensaio de resistência à compressão das argamassas, aos 28 dias, nas metades dos corpos de prova do ensaio de flexão;
- c) Ensaio de cisalhamento ou compressão de paredes, confeccionadas 06 paredes, compostas por 39 blocos cerâmicos inteiros (14 cm x 19 cm x 29 cm) e 10 blocos cerâmicos pela metade (14 cm x 19 cm x 14,5 cm), com furos na horizontal, assentados intercalados com argamassa de traço 1:3:12 (cimento: cal hidráulica: areia média), e as fases regularizadas com argamassa de revestimento de traço 1:2:8 + 1%, do peso do cimento, de aditivo compensador de retração, na espessura de 1cm, sem chapisco. Adotou-se esses padrões de execução conforme NBR 16868-3 (ABNT, 2020), o ensaio foi realizado após a cura de 28 dias.

3.4.1 Ensaio da argamassa no estado fresco

Ensaio de índice de consistência – Este ensaio determina o índice de consistência da argamassa está relacionado à trabalhabilidade da aplicação da argamassa, garantindo uma boa execução e resultado. O ensaio é realizado logo após a mistura, no estado fresco, conforme a NBR 13276:16 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de

consistência (ABNT, 2016). É realizado na mesa para índice de consistência, podendo ser manual, onde o acionamento ocorre por manivela ou com acionamento elétrico, “[...] de modo que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 s de maneira uniforme [...]”. Imediatamente, foram medidos três diâmetros em pontos uniformemente distribuídos ao seu perímetro, registra-se as três medidas em milímetros, a média das medidas corresponde ao índice de consistência da argamassa e arredonda ao número inteiro mais próximo.

Ensaio de determinação da densidade de massa – Este ensaio determina a densidade da massa em relação ao volume do material, não levando em conta os vazios do material. Este ensaio em argamassa no estado fresco é realizado conforme a NBR 13278:18 – Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. (ABNT, 2005). Para a realização do ensaio é necessário recipiente rígido, cilíndrico, de material não absorvente, com capacidade de 400 cm³, altura de 85mm e diâmetro de 80mm, medidas aproximadas. Neste recipiente determina-se o volume do recipiente através da equação 1.

$$V_r = m_a - m_v \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: V_r = Volume do recipiente (cm³); m_a = Peso do recipiente cheio água (g); M_v = Peso do recipiente vazio (g).

Após o cálculo do volume do cilindro calibrado, introduz-se porções de argamassa em três camadas de alturas semelhantes, em cada camada aplicam-se 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa, os golpes não podem bater no fundo do recipiente e nem na camada de baixo, após, o recipiente é rasado com espátula metálica com inclinação de 45°, passando duas vezes no sentido de vai e vem, e é efetuada a limpeza do molde externamente, do excesso de água e/ou partículas. Para o resultado da densidade da massa, calcula-se através da equação 2.

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \cdot 1000 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: d = Densidade da massa (kg/cm^3); m_c = Peso da massa e o molde (g); m_v = Peso do recipiente vazio (g); V_r = Volume do recipiente (cm^3).

Ensaio do teor de ar incorporado – Para a determinação do teor de ar incorporado foi utilizado o método pressométrico para concreto fresco, conforme a NBR 16887:20 – Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico (ABNT, 2020), adaptado para argamassa, sendo escolhido pela assertividade dos resultados em comparação à NBR 13278.

Este método estabelece o teor de ar incorporado determinado pela mudança do volume da argamassa, devido a uma mudança na pressão, o resultado expressa em percentual do volume total da argamassa.

Este ensaio é realizado com equipamento cilíndrico metálico com tampa, onde o fechamento entre o recipiente e a tampa deverá ser estanque, inserindo ar através de uma válvula, o resultado em percentual se apresenta no mostrador do manômetro, que deverá estar calibrado.

3.4.2 Ensaio da argamassa no estado endurecido

Ensaio de Módulo de elasticidade dinâmico – O módulo de elasticidade em argamassas está relacionado ao comportamento elástico do material, o quanto o material tem a capacidade de se deformar sem ocorrer a ruptura. Este ensaio de método não destrutivo é realizado aos 28 dias conforme a NBR 15630:09 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas ultrassônica (ABNT, 2009), na qual se determina “[...] o módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas longitudinais por pulsos ultrassônicos [...]”, e calcula-se a velocidade de propagação γ de ondas ultrassônicas, obtida utilizando a equação 3.

$$\gamma = \frac{L}{t} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: L = Comprimento do corpo de prova (mm); t = Tempo registrado em micro segundos (mS).

Depois, se determina o módulo de elasticidade dinâmico o E_d da argamassa, em Mpa, através da equação 4, aplicando o coeficiente de Poisson 0,2.

$$E_d = \frac{V^2 \cdot \rho (1 + \gamma) \cdot (1 - 2\gamma)}{(1 - \gamma)} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde: V = Velocidade de propagação (m/S); ρ = Densidade de massa (kg/m^3);
 γ = coeficiente de Poisson 0,2.

Os ensaios de resistência mecânica analisam a capacidade da argamassa de suportar a carga aplicada até sua ruptura, geralmente são tensões simultâneas de compressão, tração e cisalhamento. Os procedimentos para os ensaios da argamassa são regulamentados no Brasil pela NBR 13279:05 - Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).

Ensaio de resistência à compressão – Este ensaio, se aplicada à carga de 500 ± 50 N/s, e calcula-se pela equação 5.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde: R_c = Resistência à compressão (Mpa); F_c = Carga máxima aplicada (N); A = Área da seção (mm^2) $40\text{mm} \times 40\text{mm} = 1600\text{mm}^2$.

Ensaio de resistência à flexão na tração – Já para este ensaio a carga aplicada de 50 ± 10 N/s, os dados coletados aplicaram-se a equação 6.

$$R_f = 1,5 \cdot \frac{F_f \cdot L}{40^3} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde: R_f = Resistência à tração na flexão (Mpa); F_f = Carga aplicada no centro do prisma (N); L = Distância entre os pontos de apoio (mm).

Ensaio de massa específica, absorção e índice de vazios – A determinação da absorção de água, do índice de vazios e da massa específica das argamassas se dão por imersão e fervura dos corpos de prova. Este é um processo no qual a água ocupa os poros permeáveis da argamassa, caracterizando a absorção de água por imersão, e o índice de vazios é a relação entre o volume de permeabilidade dos poros e o

volume total da amostra. Para a determinação da massa específica real, usa-se a relação entre a massa do material seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis.

Além da massa específica real, este ensaio determina a massa específica da amostra seca e da amostra saturada, onde são necessários no mínimo dois corpos de prova com a quantidade de material de 150 cm³ e ser isentas de óleo.

Os requisitos para a execução do ensaio estão contemplados na NBR 9778:09 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2009). Inicia-se a secagem da amostra em estufa, por 72h em temperatura de 105 ± 5 °C, determinando a massa da amostra (m_s), após imergir a amostra em água com temperatura 23 ± 2°C, durante 72h, não deferindo-se em mais de 0,5% da massa menor, em ambos procedimentos.

Quando o processo de saturação é completado, coloca-se a amostra em recipiente cheio de água, levado à ebulição por 5h, e inicia-se este processo após 15 min de imersão, e antes de 30 min, mantendo o volume de água inicial, deixando a água esfriar naturalmente até a temperatura de 23 ± 2°C. Pesar, determinando a massa da amostra saturada imersa, após fervura (m_i). Retirar a amostra da água, enxugar com pano úmido e pesar, determinando a massa da amostra saturada após imersão e fervura (m_{sat}).

Os resultados são obtidos através da aplicação das equações 7, 8, 9, 10, 11.

Absorção, resultado em porcentagem (equação 7):

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \cdot 100$$

Onde: m_s = Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura; m_{sat} = Massa da amostra seca em estufa.

Índice de vazios, resultado em porcentagem (equação 8):

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \cdot 100$$

Onde: m_i = Massa da amostra saturada imersa após fervura.

Massa específica da amostra seca, resultado em g/cm³ (equação 9):

$$P_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$$

Massa específica da amostra saturada, resultado em g/cm³ (equação 10):

$$P_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i}$$

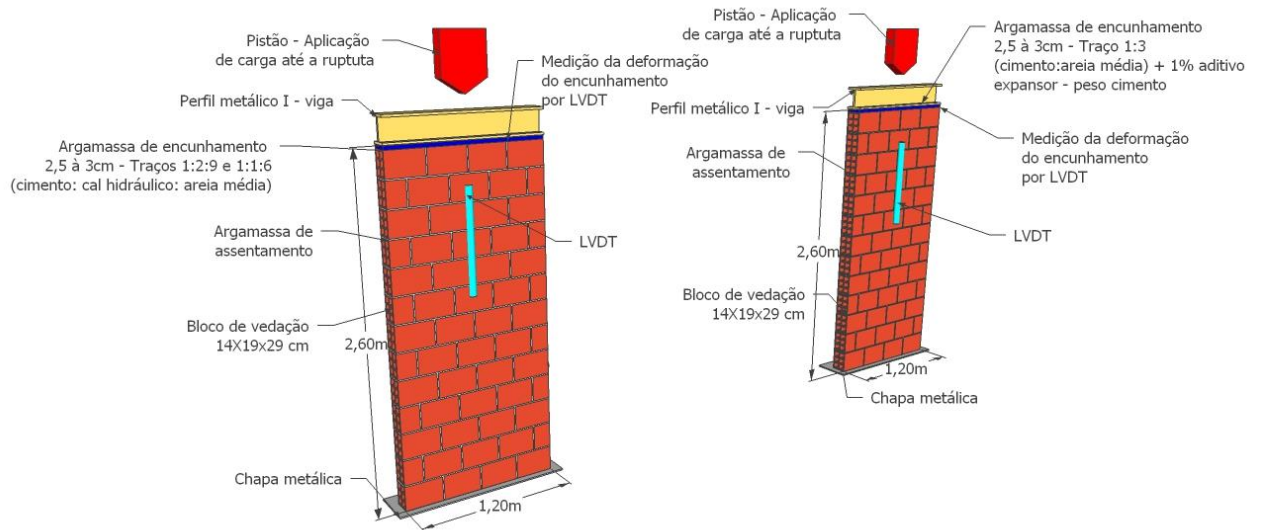
Massa específica real, resultado em g/cm³ (equação 11):

$$P_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$$

3.4.3 Ensaio de cisalhamento ou compressão da parede

Este ensaio é utilizado para determinar a resistência à compressão da parede, até o cisalhamento. A parede ensaiada deve ter dimensões mínimas de 1,20 m x 2,60 m (largura x altura), visto na figura 33. A execução da parede deve ser feita de forma que as características dos materiais e da mão de obra se tornem representativos da estrutura real, para evitar o mínimo de variações. O espaçamento do encunhamento é determinado de 2,5 a 3 cm, entre a alvenaria e a viga de aço.

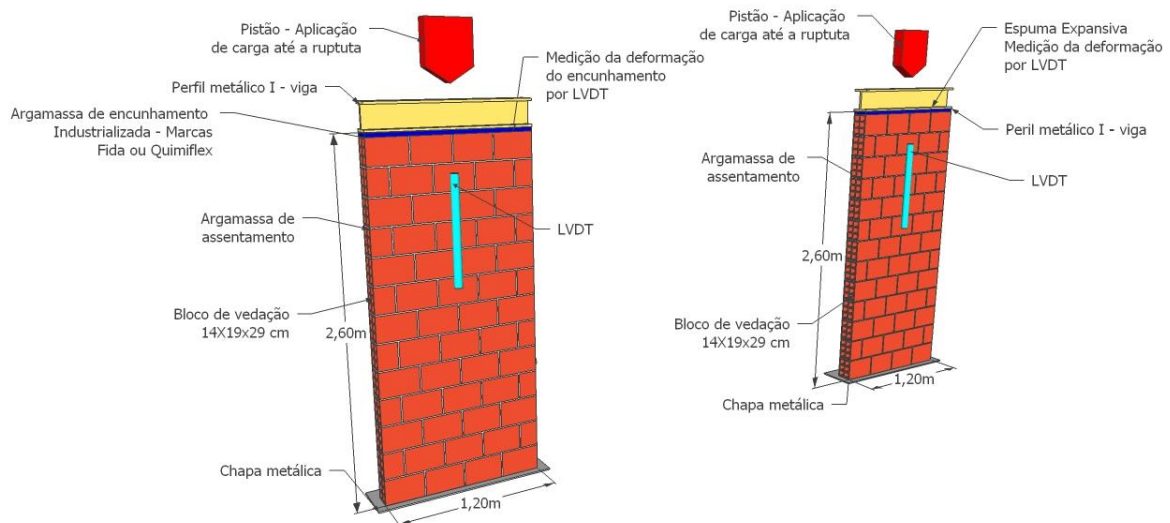
Figura 33 – Paredes com cal hidráulica e aditivo expensor



Fonte: Elaborado pela autora. (2021).

Além das paredes ensaiadas com argamassas de 2 traços, com cal hidráulica, e 1 traço com aditivo expensor, foram ensaiadas as paredes com argamassa industrializada e com espuma expansiva de poliuretano (figura 34).

Figura 34 – Paredes com espuma expansiva de poliuretano e argamassa industrializadas



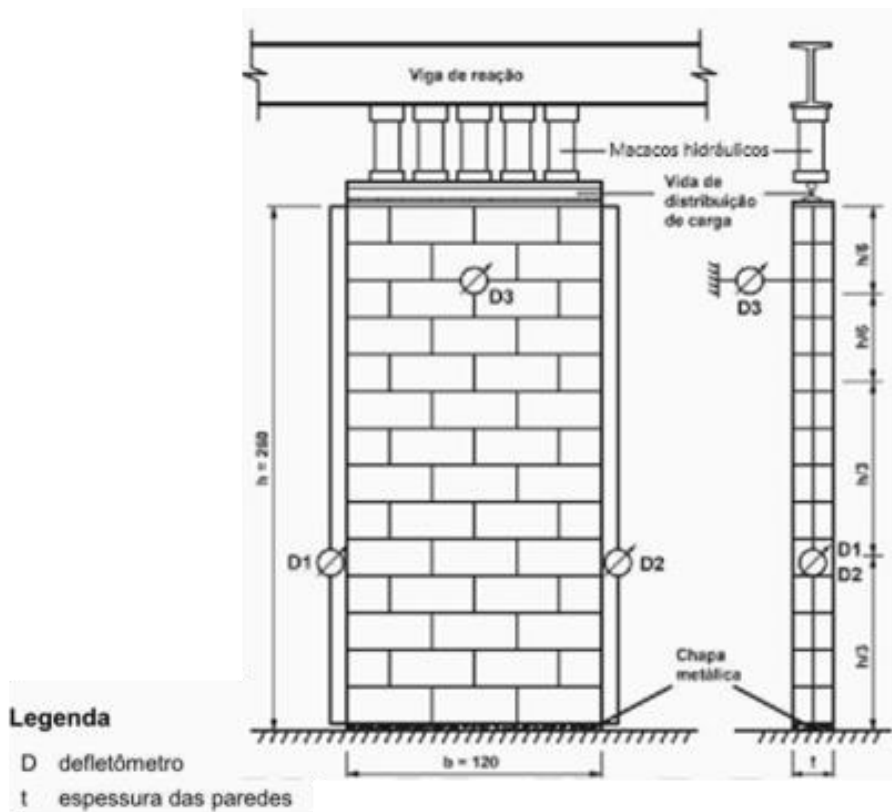
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No ensaio de cisalhamento de paredes, conforme a NBR 16868-3 (ABNT, 2020), deve ser aplicada carga uniformemente distribuída de 0,05 ($\pm 0,01$) MPa/s, em dois ciclos de carga e descarga, atingindo até 50% da carga de ruptura estimada, após cura de 28 dias da parede, onde deve-se

“[...] após os ciclos iniciais de carga e descarga, aplicar a carga de forma crescente, em incrementos da ordem de 10% do valor da carga de ruptura estimada, sendo feitas leituras dos encurtamentos do corpo de prova a cada novo incremento de carga, de forma a ser possível traçar o gráfico [...]”. (ABNT, 2020).

Os encurtamentos das paredes devem ser determinados por no mínimo dois defletores, com resolução mínima de 0,01 mm, instalados nas laterais da parede, conforme figura 35.

Figura 35 – Esquema do ensaio de compressão de parede



Fonte: NBR 16868 – 3 (ABNT, 2020).

3.5 Método da moldagem dos corpos de prova e ensaios das argamassas e espuma de poliuretano

3.5.1 Moldagem dos corpos de prova

As moldagens dos corpos de provas (CP) de argamassa foram realizadas manualmente, conforme item 5.1 e 5.2 da NBR 13279:2005, no total de 06 CP's 4x4x16cm (figura 36). Imediatamente após a mistura, foram moldados para os ensaios de resistência à compressão, à tração na flexão e ao módulo de elasticidade. Os CP's foram moldados em 2 camadas, e com um soquete de madeira foram realizados os quatorze golpes em cada camada, para eliminar o ar, foi realizado o rasamento da argamassa excedente, com espátula metálica, e os CP's foram devidamente identificados.

Figura 36 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os 3 CP's moldados para os ensaios de absorção de água e índice de vazios foram moldados aproximadamente 35 minutos após a mistura, devido ao tempo de deslocamento de um laboratório a outro. Os ensaios foram realizados com desmoldante a base de água e na mesa de adensamento, introduzindo a argamassa no molde em 2 camadas, aplicando dez quedas manualmente com a manivela da mesa, do índice de adensamento, para cada camada. O rasamento foi realizado com régua metálica. Após a moldagem, foram cobertos por placa de vidro e devidamente identificados.

Todos os CP's permaneceram na câmara, com temperatura controlada de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e foram desmoldados após 48 horas, permanecendo no ambiente de laboratório, simulando o ambiente da obra. (figura 37).

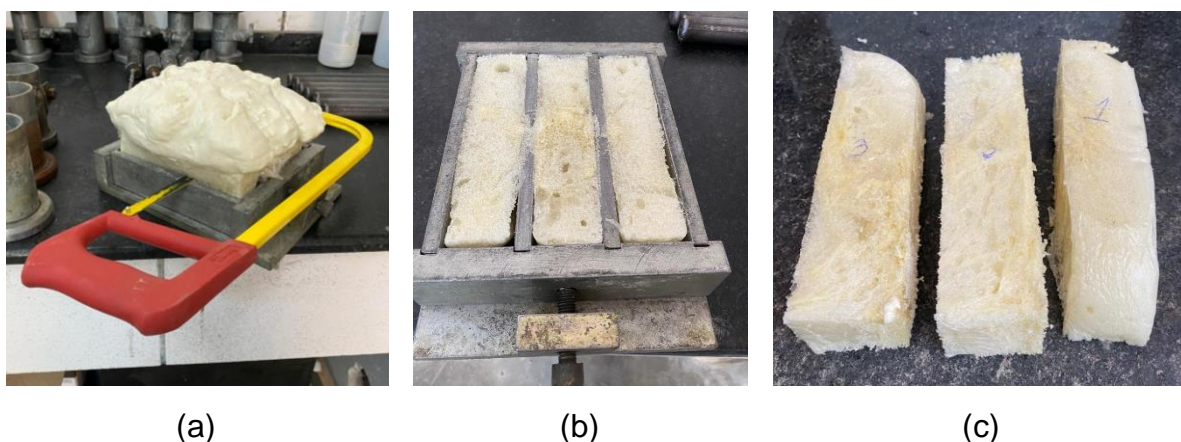
Figura 37 – Cura dos corpos de prova em ambiente



Fonte: Autora (2021).

Os CP's moldados com espuma expansiva de poliuretano foram feitos em molde metálico e revestidos com plástico, com o intuito de não causar aderência, facilitando o desmolde. Aplicou-se, então, a espuma e foi deixado expandir até 28 dias, quando foi cortado o excesso na parte superior, com a dimensão de 4 cm de altura, e foi realizado o desmolde. Observa-se na figura 38 (a), (b) e (c), o passo a passo da execução. O molde 3 foi descartado, pois sua face ficou irregular.

Figura 38 – Moldagem corpos de prova de espuma expansiva de poliuretano



(a)

(b)

(c)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.5.2 Ensaio de densidade de massa

No LASE foram realizados os ensaios no estado fresco. Primeiramente ocorreu o ensaio de densidade da massa, onde iniciou-se com a pesagem do molde cilíndrico, utilizado balança eletrônica 1g, marca Level. Após, foi realizada a introdução da argamassa em 03 camadas, aplicados vinte golpes no perímetro da argamassa, realizadas 3 quedas na mesa de adensamento, a cada camada e, após, rasada com régua metálica, então, foi pesado novamente o molde com a argamassa. Os resultados estão apresentados na tabela 7.

3.5.3 Ensaio de teor de ar incorporado

Para a determinação do ar incorporado na argamassa, foi utilizado o equipamento de controle de ar incorporado da marca Solotest (figura 39). Sua base cilíndrica (figura 40) foi preenchida em 3 etapas, com alturas aproximadas, aplicando 14 golpes por camada com o soquete de madeira; com um martelo de borracha aplicou-se 10 golpes na lateral externa do recipiente, eliminado o ar e espaços vazios, após, foi realizado rasamento com régua metálica, limpou-se as bordas e foi feito o fechamento do equipamento.

Figura 39 – Aparelho de controle de ar incorporado



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 40 – Preenchimento com argamassa a base cilíndrica



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Após o fechamento da tampa, a válvula de ar principal foi fechada. Abriu-se as válvulas laterais e injetou-se água em um lado, até que ocorresse a vazão do outro lado, retirando ar de dentro do equipamento, fechou-se as válvulas e foi inserido ar na válvula principal, conforme mostrado na figura 41(a). Aguardou-se o manômetro estabilizar e anotou-se o resultado em percentual de incorporação do ar (figura 41 (b)), representado na tabela 7.

Figura 41 – Introdução de ar na válvula principal do equipamento



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.5.4 Ensaio de índice de consistência

A execução do ensaio foi realizada através de molde troncocônico (figura 42 (a)), onde o mesmo foi centralizado na mesa, preenchido em 3 etapas com alturas

aproximadas, com o soquete de madeira a cada camada, e aplicando golpes moderados, sendo: 1º camada - 15 golpes; 2º camada - 10 golpes; e 3º camada - 5 golpes. Com o auxílio da régua metálica nivelou-se a borda, retirou-se o excesso de material, limpou-se as bordas com pano úmido, retirou-se o molde verticalmente (figura 42 (b)), e acionou-se a manivela.

Figura 42 – Ensaio de índice de consistência



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Após a última queda, mediu-se com régua metálica em 3 diâmetros, sendo o índice de consistência a média das 3 medidas, conforme mostrado na figura 43, e os resultados apresentados na tabela 7.

Figura 43 – Medição da argamassa



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 7 – Resumo dos resultados das argamassas no estado fresco

Argamassa	Densidade da massa fresca (kg/dm³)	Índice de consistência (mm)	Teor de ar incorporado (%)
E-ind	1.858	247	18
E-ad	1.928	306	7,5
E-a1:1:6	2.083	298	3,2
E-a1:2:9	2.048	283	3,4

Legenda:

E-ind – Argamassa industrializada para encunhamento

E-ad – Argamassa traço 1:3 + 10 % aditivo expensor peso do cimento (cimento: areia)

E-a1:1:6 - Argamassa traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-a1:2:9 - Argamassa traço 1:2:9 (cimento: cal hidráulica: areia)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.5.5 Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica

Os ensaios foram realizados aos 28 dias de cura em ambiente de laboratório. Iniciou-se com os CP's em estufa (figura 44), identificada pelo nº 2 do LASE, permanecendo por 72h na temperatura controlada de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, por fim pesou-se as amostras.

Figura 44 – Estufa com temperatura controlada



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Após, saturou-se as amostras por imersão em água, com temperatura controlada de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, pelo período de 72h, pesou-se a amostra e com um pano úmido, enxugou-se e pesou-se novamente. Na tabela 8, estão apresentados os resultados dos ensaios.

Tabela 8 – Ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica

Argamassa	Índice de vazios (%)	Absorção de água por imersão (%)	Massa específica		
			Seca (kg/dm ³)	Saturada (kg/dm ³)	Real (kg/dm ³)
E-ind	33,12	20,18	1,64	1,97	2,45
E-ad	21,05	11,97	1,76	1,97	2,23
E-a1:1:6	26,80	14,16	1,89	2,16	2,59
E-a1:2:9	26,74	14,37	1,86	2,13	2,54

Legenda:

E-ind – Argamassa industrializada para encunhamento

E-ad – Argamassa traço 1:3 + 10 % aditivo expensor peso do cimento (cimento: areia)

E-a1:1:6 - Argamassa traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-a1:2:9 - Argamassa traço 1:2:9 (cimento: cal hidráulica: areia)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.5.6 Ensaio de densidade da massa aparente

Mediu-se os CP's com auxílio do paquímetro e pesou-se com balança de precisão de 1g, aos 12 dias e aos 28 dias, determinando a média da densidade de massa aparente das amostras. Após, selecionou-se 3 CP's para cada argamassa, com os maiores índices de variações de medidas, apresentados no quadro 7, onde é possível observar que houve, na maioria, a redução das medidas e peso dos CP's, devido à retração das argamassas. No caso da E-ad, no seu comprimento, ocorreu a expansão de aproximadamente 1mm nos CP's 1 e 2, e para a largura e a altura dos CP's ocorreu a retração do material.

Já para os CP's E-esp, suas propriedades de expansão, obtiveram o aumento de medidas e, conseqüentemente, aumento de volume de 5,03% e diminuição do peso, devido à expansão do material.

Quadro 7 - Peso e medidas dos corpos de prova

(continua...)

CP	Cura (dias)	Peso (g)	Dimensões				Variação volume (%)	
			Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Volume (cm ³)		
E-ind	1	12	531,8	40,42	40,35	161,53	263,447	-0,43
		28	497,6	40,37	40,23	161,52	262,322	
	3	12	527,2	40,35	40,22	161,19	261,592	-0,76
		28	523,1	40,24	40,06	161,05	259,615	
	4	12	492,2	39,9	40,18	160,06	256,605	-1,20
		28	488,4	39,8	40,05	159,07	253,556	

(conclusão)

	CP	Cura (dias)	Peso (g)	Dimensões				Variação volume (%)
				Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Volume (cm ³)	
E-ad	1	12	506	41,24	43,42	160,60	287,577	- 0,12
		28	485,1	41,11	43,25	161,54	287,219	
	2	12	501,3	41,08	43,54	160,80	287,611	- 0,85
		28	481,8	40,81	43,19	161,78	285,151	
	5	12	509,4	41,5	43,46	161,92	292,037	- 1,11
		28	483,7	41,38	43,08	162,00	288,789	
E-a1:1:6	4	12	487	40,03	39,3	160,13	251,913	- 0,58
		28	481,9	40,01	39,12	160,01	250,446	
	8	12	537,2	40,53	40,23	161,65	263,574	- 0,92
		28	507,2	40,36	40,14	161,19	261,136	
	9	12	540,1	40,27	40,42	161,23	262,436	- 0,91
		28	506,3	40,14	40,21	161,11	260,036	
E-a1:2:9	4	12	471,4	40,45	40,56	161,06	264,243	-0,45
		28	468,0	40,38	40,46	161,01	263,054	
	6	12	468,3	40,22	40,23	161,50	261,315	-0,35
		28	465,3	40,16	40,16	161,46	260,407	
	7	12	459,3	40,56	40,28	160,80	262,708	-0,50
		28	454,7	40,45	40,21	160,42	261,410	
E-esp	1	12	8,8	39,93	40,1	159,56	255,486	5,42
		28	8,3	40,57	41,32	160,66	269,323	
	2	12	11	39,34	41,04	156,43	252,558	5,15
		28	10,4	39,94	42,45	156,64	265,576	
	3	12	16,6	40,32	40,84	162,16	267,024	4,52
		28	15,8	41,25	41,34	163,08	278,096	

Legenda:

E-ind – Argamassa industrializada para encunhamento

E-ad – Argamassa traço 1:3 + 10 % aditivo expensor peso do cimento (cimento: areia)

E-a1:1:6 - Argamassa traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-a1:2:9 - Argamassa traço 1:2:9 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-esp – Espuma de poliuretano

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na tabela 9, estão apresentados os resultados da densidade de massa aparente para os CP's, aos 12 dias e 28 dias.

Tabela 9 – Densidade de massa aparente aos 12 dias e 28 dias

	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	
	12 dias	28 dias
E-ind	1.967	1.948
E-ad	1.756	1.685
E-a1:1:6	1.973	1.940
E-a1:2:9	1729	1718
E-esp	47	42

Legenda:

E-ind – Argamassa industrializada para encunhamento

E-ad – Argamassa traço 1:3 + 10 % aditivo expansor peso do cimento (cimento: areia)

E-a1:1:6 - Argamassa traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-a1:2:9 - Argamassa traço 1:2:9 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-esp – Espuma de poliuretano

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.5.7 Ensaio de módulo de elasticidade

Ensaio executado aos 28 dias, conforme a NBR 15630 (ABNT, 2009), do módulo de elasticidade dinâmico, através da propagação de onda ultrassônica, realizado com o equipamento portátil da marca Pundit lab, modelo proceq (figura 45).

Determinou-se a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, e o módulo de elasticidade das argamassas em MPa, através das equações descritas anteriormente no capítulo 5.4.2. Os resultados estão apresentados na tabela 10.

Figura 45 – Ensaio módulo de elasticidade dinâmico

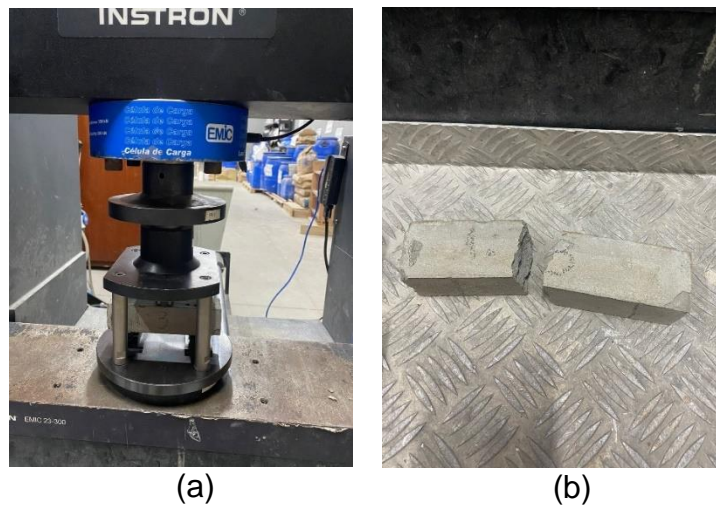


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.5.8 Ensaio de resistência à tração na flexão e resistência à compressão

Os ensaios foram realizados conforme descrito no capítulo 3.4.2. O equipamento utilizado foi uma prensa da marca Instron, modelo Emic 23-300. Para o ensaio de resistência à tração na flexão, foi usada a unidade de carga 50 N/s até a ruptura, onde a carga foi aplicada no centro do CP, sendo apoiado em 2 pontos, conforme figura 46 (a) e na figura 46 (b) a ruptura à flexão.

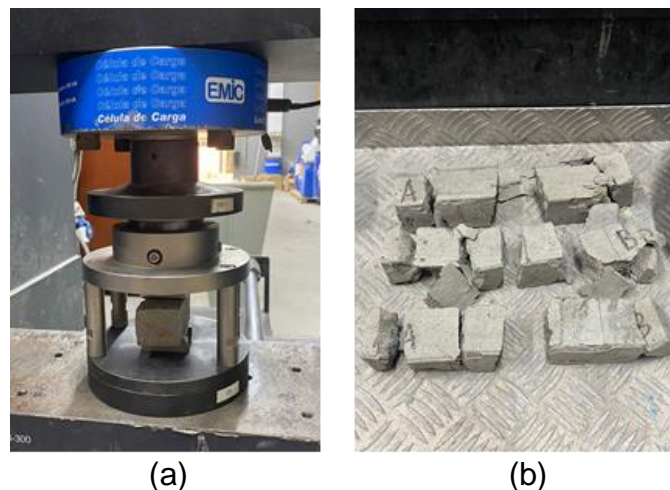
Figura 46 – Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Já para o ensaio de resistência à compressão (figura 47 (a)), utilizou-se as duas partes do CP do ensaio de flexão, sendo a unidade de carga 500N/s até a ruptura, pode ser visto na figura 47 (b) os CP's após o ensaio.

Figura 47 – Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na tabela 10 estão apresentados os dados e resultados médios dos ensaios do módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração na flexão e à compressão.

Tabela 10 – Resultado dos ensaios de módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão

	Resultados médios					
	Densidade de massa no estado endurecido (kg/m ³)	Tempo de propagação da onda ultrassônica (μs)	Velocidade de propagação da onda ultrassônica (m/s)	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
E-ind	1.978	91	1.754	5,50	0,4	1,11
E-ad	1.693	53,1	3.015	13,87	2,3	5,25
E-a1:1:6	1.925	64,6	2.478	10,60	1,4	4,64
E-a1:2:6	1.775	81	1.975	6,22	1,2	3,34
E-esp	42	----	----	----	0,5	----

Legenda:

E-ind – Argamassa industrializada para encunhamento

E-ad – Argamassa traço 1:3 + 10 % aditivo expensor peso do cimento (cimento: areia)

E-a1:1:6 - Argamassa traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-a1:2:9 - Argamassa traço 1:2:9 (cimento: cal hidráulica: areia)

E-esp – Espuma de poliuretano

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.6 Método de execução e ensaio das paredes

As paredes foram construídas por profissional com experiência em execução de paredes de alvenaria, de blocos cerâmicos de vedação. Os blocos foram assentados com argamassa com traço 1:3:12 (cimento: cal hidráulica: areia média), nivelados e a prumo (figura 48).

Figura 48 – Assentamento dos Blocos cerâmicos



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As paredes foram executadas com alturas inferiores ao recomendado pela NBR 16868-3 (ABNT, 2020), de 2,60 m, devido ao limitante de altura do equipamento, que é um pórtico para prensa de 30 t (figura 55 (a)), com um macaco hidráulico no centro. Realizou-se as medições das paredes na sua execução, sendo a parede 1 (P1) com dimensões de 1,21m x 2,35m (largura x altura), parede 2 (P2) com dimensões de 1,21m x 2,31m (largura x altura), parede 3 (P3) com dimensões de 1,20m x 2,33m, parede 4 (P4) nas dimensões de 1,19m x 2,28m, parede 5 (P5) suas dimensões são de 1,20m x 2,30m e a última parede, a 6 (P6) de dimensões de 1,21m x 2,30m.

Após a finalização das paredes, iniciou-se o processo de execução dos encunhamentos, para as paredes P1, P2, P4 e P5. Realizou-se o requadro da parte superior da parede, com auxílio de duas madeiras nas laterais e grampos de vergalhão, nivelou-se e mediu-se a madeira, como mostrado na figura 49(a), ficando acima da alvenaria em toda sua extensão, limitou-se a altura de 3cm para execução da argamassa de encunhamento (figura 49 (b)).

Figura 49 – Execução da base de 3cm para argamassa de encunhamento



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As paredes foram preenchidas com os 4 traços argamassa, em toda a sua extensão, aplicou-se a argamassa com uma colher de pedreiro (figura 50 (a)), alisou-se a face superior (figura 50 (b)), pois é necessário a base estar lisa para a distribuição uniforme da carga na execução do ensaio.

Figura 50- Execução da argamassa de encunhamento na parede



(a)



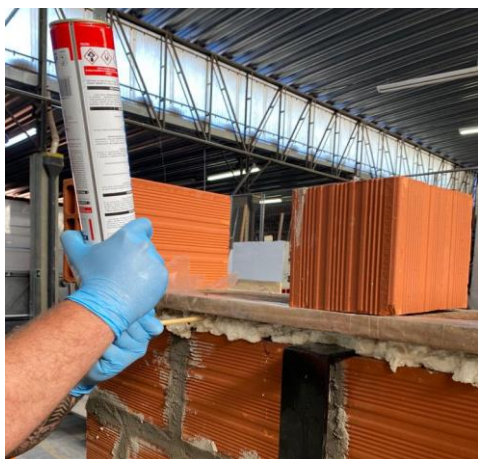
(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A execução do encunhamento com espuma, denominada E-esp, na parede P3, praticou-se diferente das argamassas, devido ao material ser expansivo, houve-se a

necessidade de fazer o fechamento na parte superior e uma das laterais, onde aplicou-se a espuma e foi deixado expandir. Estes processos estão representados na figura 51 (a) e 51 (b)

Figura 51 – Execução do encunhamento com espuma expansiva de poliuretano



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Após 12 dias da execução das paredes, foram retiradas as madeiras e cortado o excesso da espuma, com os encunhamentos todos prontos para a regularização das faces, conforme a figura 52 (a) e 52 (b), das paredes P1 e P2.

Figura 52 – Encunhamento das paredes P1E-ad e P2E-a1:1:6



(a) P1E-ad



(b) P2E-a1:1:6

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A figura 53 (a) e 53 (b) demonstra as paredes P3 e P4 e os encunhamentos E-esp e E-a1:2:9 executados.

Figura 53 - Encunhamento das paredes P3E-esp e P4E-a1:2:9



(a) P3E-esp

(b) P4E-a1:2:9

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na figura 54, está a parede executada P5, com encunhamento de argamassa industrializada (E-ind).

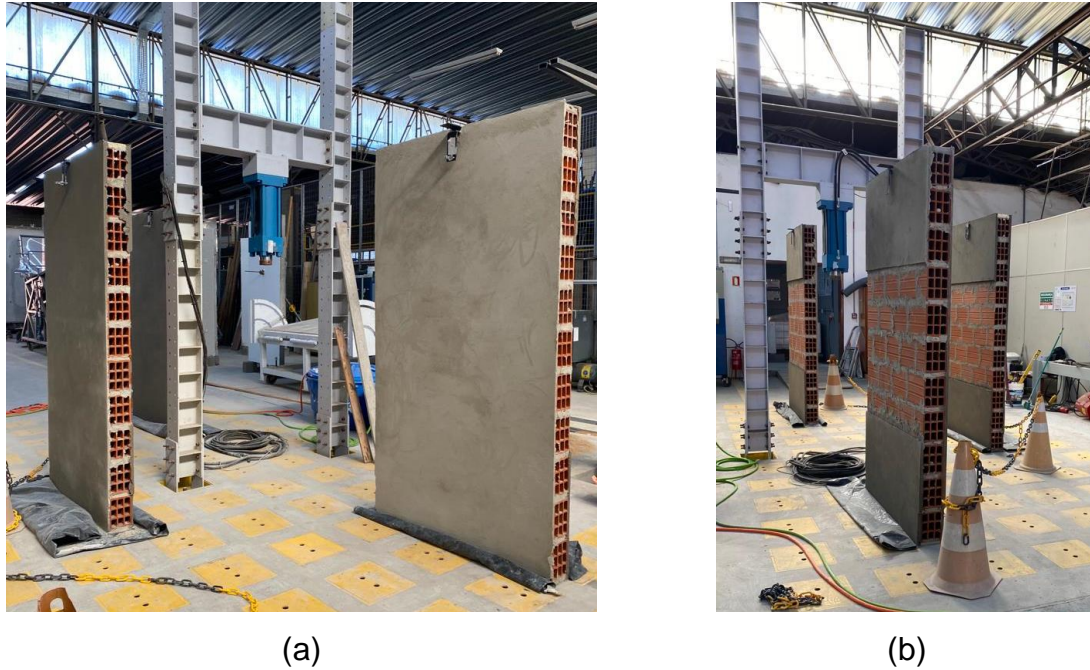
Figura 54 - Encunhamento da parede P5E-ind



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Para finalizar, foram regularizadas as faces das paredes, com argamassa traço 1:2:8, com adição de 1% de aditivo compensador de retração, de um lado a face total (figura 55 (a)), para a instalação dos equipamentos, e na outra face a extremidade superior (figura 55 (b)).

Figura 55 – Paredes regularizadas com argamassa

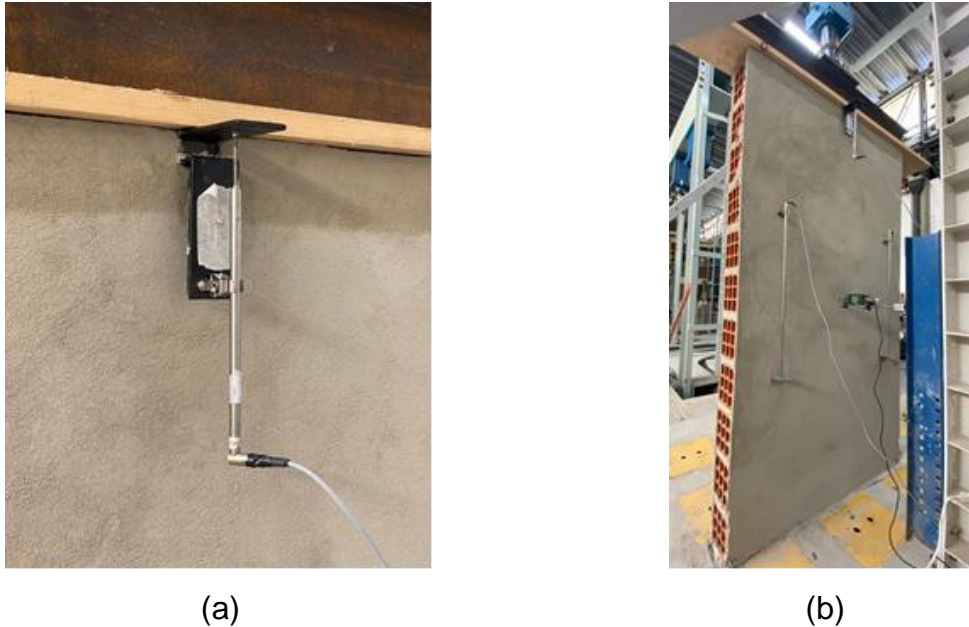


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Para todos os ensaios de compressão das paredes foram utilizados três equipamentos de tradutor de deslocamento variável linear – LVDT, que é usado para converter movimento mecânico ou vibrações, especialmente os lineares, sendo um sensor de movimentação, portanto, a tecnologia de medição verificou os encurtamentos verticais das paredes e do encunhamento.

Determinamos os pontos de fixações dos LVDT's, através da medição da altura de cada parede, dividiu-se em 3 partes iguais, fixou-se na face regularizada dois LVDT's a 20cm das extremidades, coletando os dados de encurtamento vertical da parede, e um fixado no suporte no centro da parede (figura 56 (a)), com o intuito principal de encunhamento, como mostrado na figura 56 (b).

Figura 56 – Distribuição e fixação dos equipamentos LVDT's e deflectômetro



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Empregou-se um sistema de distribuição de carga ao longo da parede, devido à aplicação de carga concentrada na vertical, no centro da parede, fazendo parte do sistema apenas um macaco hidráulico, uma viga de reação metálica, sendo um perfil de aço em formato “I”, tendo dimensões 13,5cm x 21,2cm (largura x altura), espessura da alma de 8mm e comprimento 1,50m e uma madeira 20cm x 2,5cm (largura x espessura). A figura 57 mostra o sistema de carregamento e distribuição de carga adotada nos ensaios.

Figura 57 – Sistema de carregamento e distribuição de carga



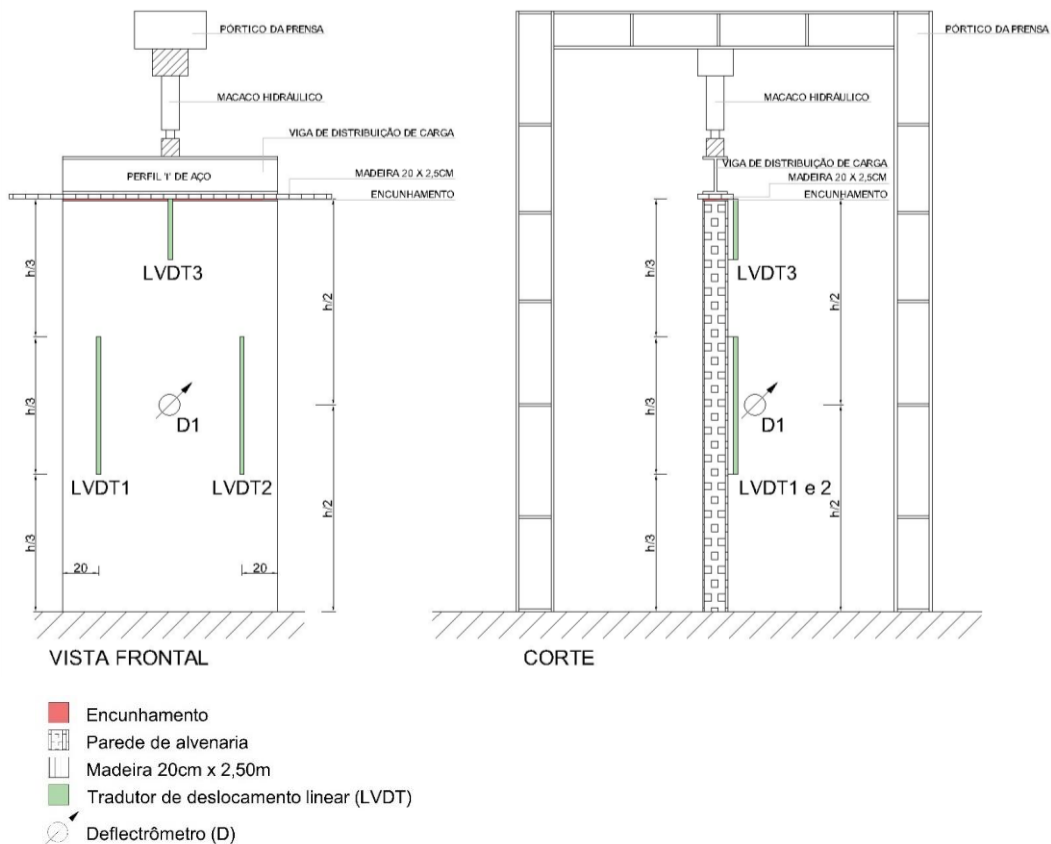
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Para o monitoramento do deslocamento na horizontal utilizou-se um deflectômetro, um equipamento de grande precisão com sensibilidade de 0,0005/0,001mm, com a finalidade de medir o deslocamento positivo e negativo da parede ensaiada, foi instalado no eixo central da parede, como mostrado na figura 56 (b).

Todo os detalhes do sistema de aplicação de carga e as instrumentações estão representados na figura 58.

A carga foi aplicada lentamente, sem impactos, no centro da viga, até as anomalias aparecerem, como desprendimento da argamassa de revestimento e fissuras, monitorando-se os deslocamentos verticais e horizontais da parede. Observou-se que, com aplicação de carga, ocorrem as deformações de flexão e giro, onde as paredes sofreram, primeiro em uma das faces, as anomalias, que são decorrência dos esforços transmitidos da viga para a alvenaria, no qual o encunhamento necessita absorver esses esforços.

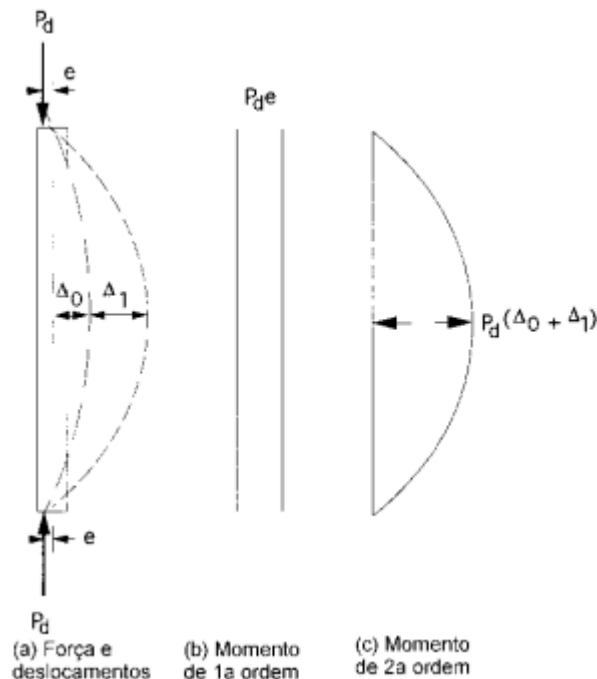
Figura 58 – Esquema do sistema de aplicação de carga e medições



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Essas deformações, impostas à aplicação de carga, são consequência da força lateral causando a flexão, somadas à esbeltez da parede. Essas deformações se explicam com o método de Parsekian (2016), onde considera-se a parede apoiada na base e topo, com carga excêntrica, chamado de método do coeficiente amplificador de momento, ocasionado pela deflexão da parede (flambagem), conforme mostra a figura 59.

Figura 59 - Método do coeficiente amplificador de momento



Fonte: Parsekian et al (2016, p.201)

Ficou evidenciado nas paredes, como mostrado nas figuras 60, 61, 62, considerando (a) para face regularizada total e (b) para face regularizada parcial, após os ensaios nas paredes que apresentaram anomalias somente na parte superior da parede. A P4E-a1:2:9 apresentou anomalia somente em um lado e no mesmo momento a ruptura da parede.

Figura 60 - P4E-1:2:9 de traço 1:2:9



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nas paredes P2E-a1:1:6 e P6, além das anomalias na parte superior, ocorreram fissuras na alvenaria na argamassa de assentamento e deslocamento da argamassa de revestimento no topo da parede.

Figura 61 - P2E-a1:1:6 de traço 1:1:6



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 62 - P6 – Sem encunhamento



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O método do coeficiente amplificador de momento não é levado em consideração para paredes com ancoragem em pilares nas extremidades, e também paredes que servem de contraventamento das estruturas que tendem a apresentar deslocamentos, influenciando outros cálculos e métodos, onde o mais conhecido é o método de análise elástica, que considera o comportamento plástico e elástico das paredes (MADIA, 2012).

Entretanto, as paredes P1E-ad e P3E-esp apresentaram anomalias dos dois lados (figuras 63 e 64), sendo que, na parede P3E-esp a anomalia apresentou-se em toda extensão do topo da parede, com certo esmagamento da espuma expansiva, ocorrendo o desprendimento na argamassa de revestimento.

Figura 63 – P1E-ad de traço 1:3 + 10% aditivo



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 64 - P3E-esp com espuma expansiva de poliuretano



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Já a parede P5E-ind apresentou uma pequena fissura na face, até a carga estabelecida no ensaio, e fissura no topo entre a alvenaria e argamassa de revestimento e extremidades da parede entre a argamassa de revestimento e bloco, mas estando aderida à alvenaria, como mostra a figura 65.

Figura 65 - P5E-ind de Argamassa industrializada



(a)

(b)



Topo da parede



Extremidade lado direito

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A partir da coleta de dados apresentada, foram identificados e elaboradas tabelas e gráficos que são apresentados no Capítulo 4 – Análise dos resultados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do ensaio de compressão das paredes, conforme caracterização dos elementos da alvenaria, materiais e ensaios já descrito no capítulo 3.

4.1 Encurtamento das paredes

Em todas as alvenarias, antes da realização dos ensaios, foi verificado o encurtamento durante o período de cura. Não foi evidenciada nenhuma anomalia, como fissuras ou desaprumo. Como abordado anteriormente, no capítulo 2.4.4, o recalque por retração de secagem das alvenarias é um dos fatores que faz surgir as fissuras no encunhamento. (FRIEDERICH; SANTOS, 2020; THOMAZ, 1989 *apud* SENA et.al, 2020). Devido ao encunhamento precoce, portanto, foram realizadas medições de altura das paredes executadas em 0, 12 e 28 dias. Os resultados estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Medidas e percentual de encurtamento das paredes

	Data	Alvenaria – altura (cm)						Encurtamento da parede (cm)	Recalque por retração de secagem da argamassa de assentamento (%)
		0 dias		12 dias		28 dias			
		Esq. (cm)	Direita (cm)	Esq. (cm)	Direita (cm)	Esq. (cm)	Direita (cm)		
P1	09/12	--	235,0	--	231,8	232,1	231,2	3,8	1,62
P2	10/12	--	231,0	--	230,3	229,7	229,4	1,6	0,69
P3	09/12	--	233,5	--	229,9	228,9	229,7	3,8	1,63
P4	17/01	--	227,5	--	227,2	227,0	226,0	1,5	0,66
P5	17/01	--	229,8	--	229,6	229,7	228,6	1,2	0,52
P6	17/01	--	230,1	--	229,9	231,5	229,6	0,7	0,3

Legenda:

P1E-ad – Parede 1

P2E-a1:1:6 – Parede 2

P3E-esp – Parede

P4E-a1:2:9 – Parede 4

P5E-ind – Parede 5

P6 – Parede sem encunhamento

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observa-se através dos dados obtidos na tabela 11 que a parede P1 e P3 apresentou o encurtamento maior entre 0 e 12 dias, enquanto as demais entre 12 e 28 dias. O recalque por retração da parede P3 atingiu 1,63% e a P1 atingiu 1,62% de abatimento aos 28 dias, sendo 3,8cm de encurtamento.

Na tabela 12 são apresentadas as principais evidências verificadas em cada uma das amostras, bem como a carga em que cada evidência foi verificada.

Tabela 12 – Principais danos evidenciados nos ensaios de compressão

	Danos evidenciados	Carga (kN)	Deslocamento vertical			Deslocamento horizontal – flexa (mm)
			Encunhamento (mm)	LVDT esq. (mm)	LVDT dir. (mm)	
P1E-ad	1° - Fissura da argamassa de revestimento	76,39	0,8401	0,6493	0,6662	2,5638
	2° - Fissura e desprendimento localizado da argamassa de revestimento (queda)	124,63	0,4344	0,6646	0,8084	3,3398
P2E-a1:1:6	1° - Fissura e desprendimento localizado da argamassa de revestimento (queda)	20,66	0,0384	0,0078	0,0245	0,1028
	2° - Desprendimento parcial da parte superior da argamassa de revestimento (queda)	25,39	0,0376	0,0099	0,0234	0,0889
P3E-esp	1° - Desprendimento localizado da argamassa de revestimento (queda)	6,00	0,0014	0,0093	0,0045	0,2980
	2° - Fissura da argamassa de revestimento	11,56	0,1552	0,0143	0,1396	0,2800
P4E-a1:2:9	1° - Esmagamento e desprendimento do bloco da última fiada	122,50	Retirados os equipamentos a 120 kN			
	2° - Ruptura da parede	123,50				
P5E-ind	1° - Fissura da argamassa de revestimento	137,20	Retirados os equipamentos a 105 kN			
P6	1° - Fissura da argamassa de revestimento	12,50	0,8759	0,3046	0,0046	0,5970
	2° - Esmagamento do bloco da última fiada	82,54	1,1722	0,3843	0,0052	0,6595

Legenda:

P1E-ad – Parede 1 com encunhamento de argamassa traço 1:3 + 10 % aditivo expansor peso do cimento (cimento: areia)

P2E-a1:1:6 – Parede 2 com encunhamento de argamassa traço 1:1:6 (cimento: cal hidráulica: areia)

P3E-esp – Parede 3 com encunhamento de espuma de poliuretano

P4E-a1:2:9 – Parede 4 com encunhamento de argamassa traço 1:2:9 (cimento: cal hidráulica: areia)

P5E-ind – Parede 5 com encunhamento de argamassa industrializada

P6 – Parede sem encunhamento

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

É possível notar que os deslocamentos, tanto vertical como horizontal, foram variados, onde os danos foram evidenciados com distintas cargas axiais.

As primeiras anomalias apresentadas ocorreram na região do encunhamento em todas as paredes. Em três sistemas houve ruptura, na P2E-a1:1:6 o primeiro dano evidenciado foi com a carga de 20,66kN e a sua ruptura ocorreu com a carga de 144,92kN. A amostra P4E-a1:2:9, logo após o primeiro dano evidenciado, com a carga de 122,5kN, apresentou ruptura com a carga de 123,5kN. E a P6, sem encunhamento, apresentou o primeiro dano com a carga de 61kN, e ruptura com a carga de 82,54kN.

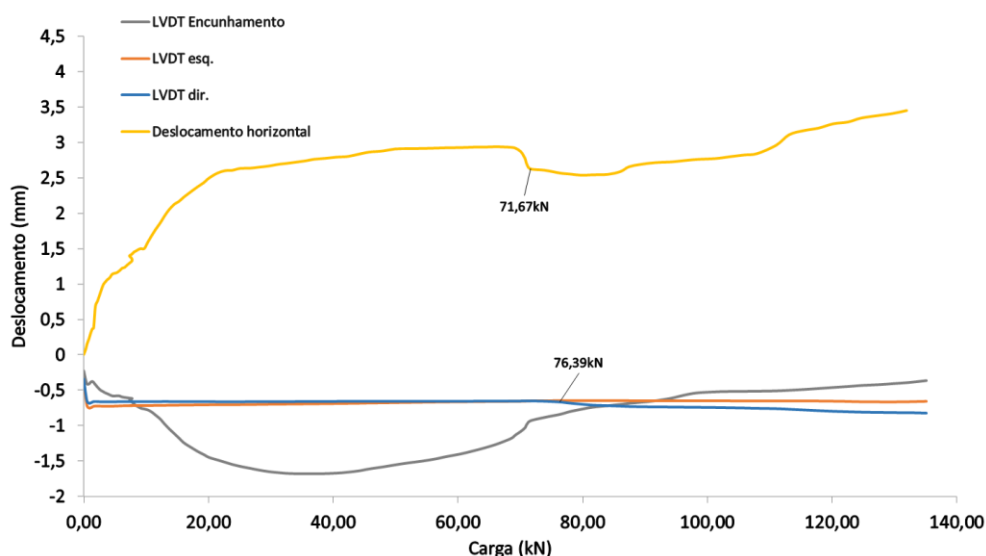
A análise dos diferentes materiais aplicados na região do encunhamento, foi realizada individualmente, através de gráficos de carga versus deslocamento, e comparadas com a parede sem encunhamento.

4.2 Resultados dos ensaios de compressão

4.2.1– Parede 1 - Encunhamento de argamassa 1:3+10% aditivo (P1E-ad)

A figura 66 apresenta os resultados de carga versus deslocamento do encunhamento e da parede do sistema de vedação vertical, com o encunhamento de argamassa 1:3 + 10% aditivo.

Figura 66- Gráfico carga x deslocamento – P1 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:3+10% aditivo



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Através da figura 66 é possível verificar que, no instante em que a parede é solicitada ao carregamento, há a compressão do encunhamento, e há uma compressão na parede, porém, a parede acaba estabilizando a sua deformação, enquanto o encunhamento continua sendo comprimido. É possível notar, também, que há uma deformação horizontal na medida em que a carga axial é aplicada. Este comportamento é devido à flambagem da parede devido à carga axial aplicada, conforme apresentado por Parsekian (2016).

Observa-se que o deslocamento horizontal da parede está aumentando e ao mesmo tempo o encunhamento está sendo comprimido. Na carga de 71,67kN, é possível notar que ambas as deformações apresentam uma queda, evidenciando um dano, que foi constatado com o surgimento de uma fissura a carga aplicada de 76,39kN (figura 67).

Figura 67 – Primeiro dano, fissura a 76,39kN



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No instante em que a carga axial atingiu 76,39kN, os LVDTs fixados mostram que a deformação axial está acontecendo também na parede. Isso evidencia o início da flexo-compressão, onde, o lado em que os LVDTs estão posicionados está comprimindo e o lado oposto está tracionando. E devido à isso, o deslocamento do encunhamento muda de sentido, pois há o giro da viga de distribuição da carga sobre a parede.

Após o ensaio, realizou-se uma inspeção visual na parede a qual verificou-se que, a argamassa de revestimento se despreendeu da alvenaria e a argamassa de encunhamento apresentou ruptura por esmagamento no mesmo lado da argamassa

de revestimento (figura 68), no lado direito, predominantemente as tensões foram maiores no lado direito, apesar da carga ser distribuída.

Figura 68 – Ruptura da argamassa de encunhamento



Fonte: Autora (2022).

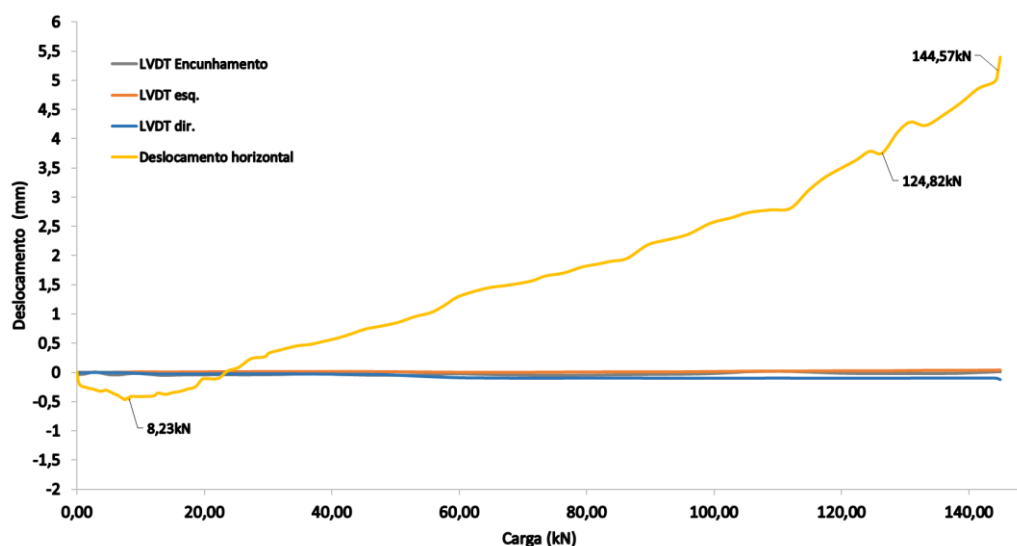
Nas extremidades da parede nenhum dano nos blocos de vedação foi detectado, somente na argamassa de revestimento e encunhamento, onde os danos evidenciados foram:

- Deslocamento da argamassa de revestimento nas 2 interfaces, na parte superior lado direito;
- Fissura e descolamento da argamassa de revestimento na região do encunhamento com a viga de distribuição da carga. As fissuras surgiram conforme o aumento da carga aplicada e foram progredindo até a queda parcial do material;
- Esmagamento da argamassa de encunhamento e ruptura.

4.2.2 Parede 2 – Encunhamento com argamassa 1:1:6 (P2E-a1:1:6)

A figura 69 apresenta os resultados de carga versus deslocamento do encunhamento de argamassa 1:1:6 e do sistema de vedação vertical.

Figura 69 - Gráfico carga x deslocamento – P2 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:1:6

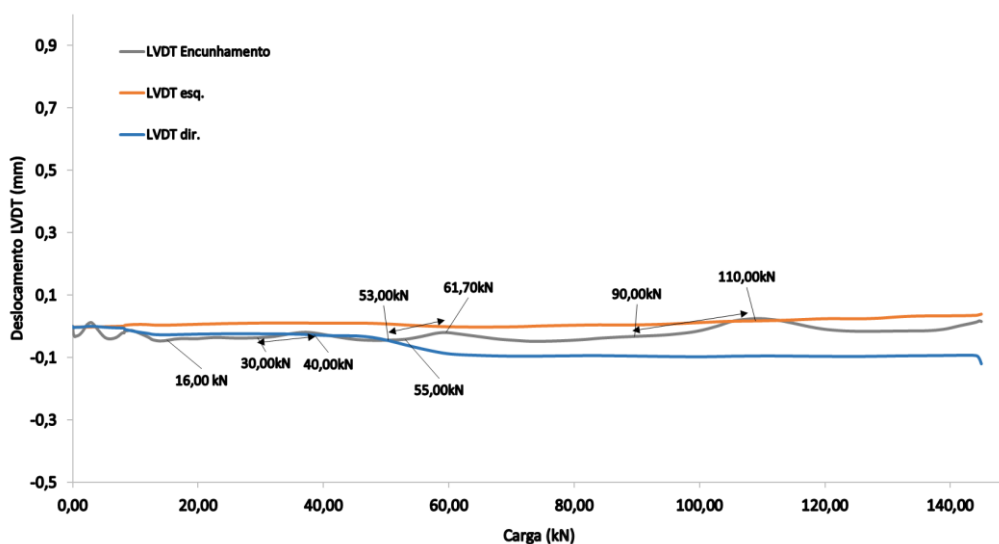


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observa-se na figura 69 que, na deformação horizontal, houve movimentação da parede para os dois lados, a mudança de direção ocorreu com a carga de 8,23 kN. Após a esta carga a parede teve uma deformação, quase linear.

Já os LVDT's apresentam linearidade. Para uma análise mais detalhada das deformações, houve a necessidade da ampliação do gráfico, conforme figura 70.

Figura 70 - Gráfico carga x deslocamento – P2 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:1:6 (detalhe)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com base nas deformações obtidas no ensaio, é possível notar que o encunhamento até a carga de 16kN apresentou variações nas deformações. Esta variação de deformação está ligada à acomodação das cargas no sistema, fazendo com que a base que foi utilizada para medir as deformações tenha girado entorno do eixo central da parede, e da formação de fissuras que foram evidenciadas no ensaio. Também foram evidenciados estalos no sistema, evidenciando que possíveis falhas possam ter ocorrido nos blocos ou na argamassa de assentamento.

Estas variações de deformação foram evidenciadas também nas cargas de 30 kN até 40 kN, com desprendimento da argamassa de revestimento, entre 53 kN e 61,7 kN e a última, com queda de material e fissuras de 90 kN até 110 kN. Os estalos escutados, evidenciam a ocorrência de ruptura por tração das nervuras dos blocos de vedação, resultando na tendência de flambar a face externa do bloco, ocasionando a expulsão lateral dos blocos e a ruptura conforme explica Thomaz (2020).

Ao analisar as deformações da parede, percebemos que o LVDT direito, quando a carga de 60 kN foi aplicada, obteve um encurtamento de 0,012mm, após uma linearidade até o surgimento da fissura horizontal na parede (figura 71), com a carga de 144,57 kN e simultaneamente a compressão brusca até a ruptura da parede (figura 72).

Figura 71 – Fissura horizontal P2E-a1:1:6



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Enquanto o LVDT esquerdo apresentou deformação constante, indicando comportamento linear, praticamente nulo até a carga de 110 kN.

Figura 72 – Parede P2E-a1:1:6 - Ruptura do sistema a 144,92kN



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O sistema avaliado obteve a carga máxima na primeira fissura, com 20,66kN, e atingiu a carga crítica de flambagem a 144,57 kN, evidenciado pelo dano de fissura horizontal e a carga máxima de ruptura, de 144,92kN.

Os danos evidenciados antes da ruptura da parede estão descritos abaixo:

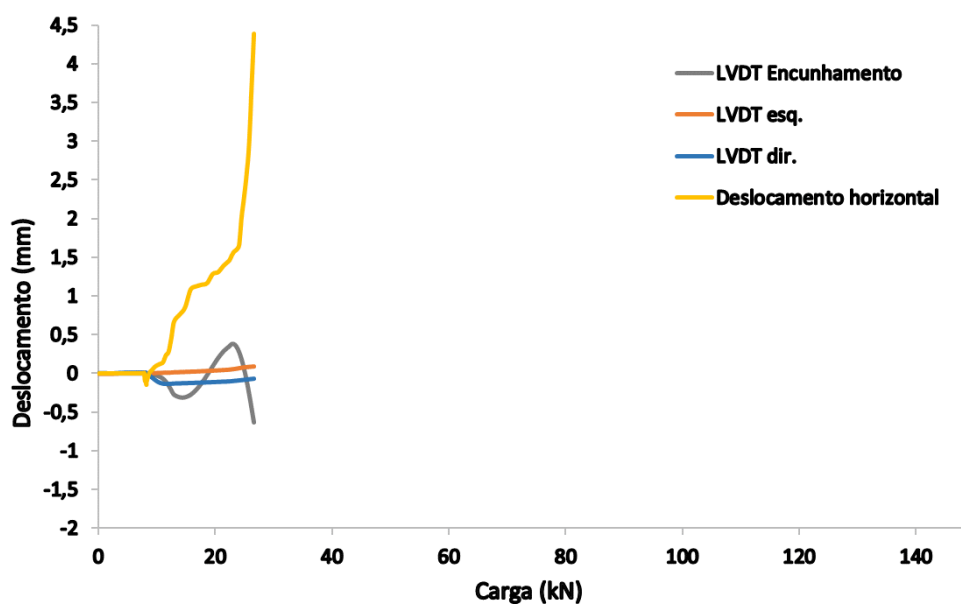
- Descolamento da argamassa de revestimento nas 2 interfaces, ao longo do topo da parede;
- Fissuras na região do encunhamento, surgiram a 20,66kN, a 24,66kN, 53,07kN, conforme o aumento da carga aplicada e foram progredindo até a queda parcial do material;
- Fissura na horizontal, localizada no bloco da última fiada próximo a argamassa de assentamento, que resultou na ruptura da parede, atingindo o limite de resistência de 144,92kN.

4.2.3 Parede 3 – Encunhamento com espuma de poliuretano (P3E-esp)

A figura 73 apresenta os resultados de carga versus deslocamento da parede com encunhamento, realizado com espuma expansiva a base de poliuretano.

O encunhamento com a espuma expansiva apresentou inúmeras fissuras quando solicitado. Devido à espuma possuir módulo de elasticidade inferior à argamassa de revestimento, as deformações do encunhamento foram baixas. Porém, a carga máxima aplicada no sistema foi inferior às demais paredes ensaiadas.

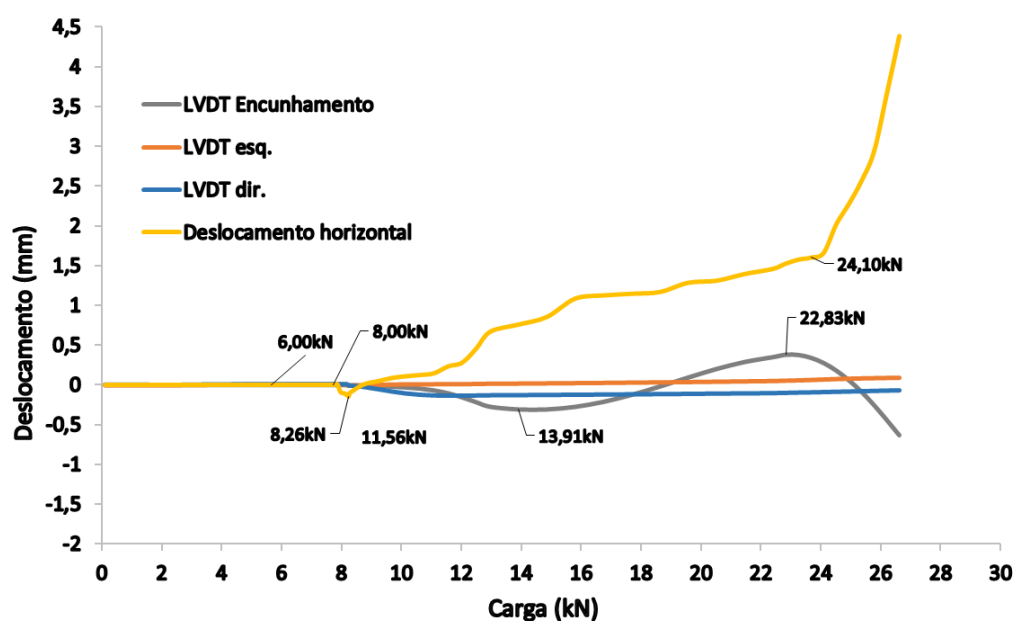
Figura 73 – Gráfico carga x deslocamento – P3 da amostra de encunhamento de espuma expansiva



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A seguir, a área ampliada do gráfico, facilitando a análise.

Figura 74 – Gráfico carga x deslocamento – P3 da amostra de encunhamento de espuma expansiva (detalhe)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

É possível verificar que o encunhamento absorveu as tensões impostas à parede e estabilizando suas deformações até a carga axial aplicada de 8kN. Após, a deformação horizontal sofreu uma pequena compressão, atingindo a carga de 8,26 kN ocorrendo uma inversão de deslocamento, associada ao dano ocorrido à fissura na face de fixação dos LVDT's. É possível verificar, também, que na carga aplicada de 24,10kN, ocorreu um aumento brusco de 2,73mm, atingindo o máximo de 4,39mm no final do ensaio.

Os deslocamentos verticais direito e esquerdo, tiveram deformações axiais desprezíveis até a carga aplicada de 8,26kN, após apresentaram deslocamentos distintos. O LVDT direito mostrou que o lado direito está sendo comprimido, com uma queda de 0,14mm até a carga aplicada de 11,56kN, evidenciando um dano, que foi constatado em uma fissura, se mantendo linear e atingindo 0,072mm de deformação. Enquanto o LVDT esquerdo se manteve estabilizado.

É possível analisar também que, no instante da fissura a 8,26kN, o LVDT de encunhamento, na face que está fixado, nota-se a compressão até atingir a carga 13,91kN, após o dano evidenciado no lado oposto da parede (figura 75), de desprendimento da argamassa de revestimento, ocorreu a inversão da deformação até a carga aplicada de 22,83kN. O mesmo comportamento ocorre na outra face, conseqüentemente, há inversão e há compressão do material.

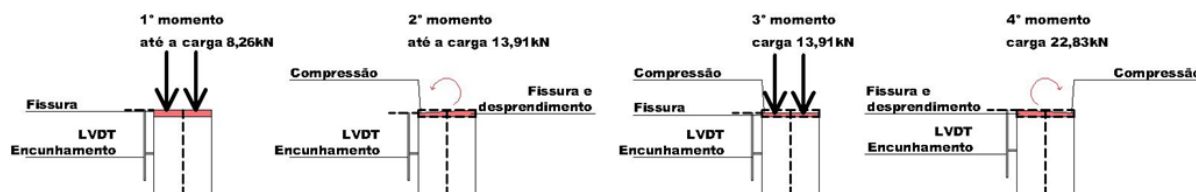
Figura 75 – P3E-esp - Fissura e queda de material a 13,91kN



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Esse comportamento do material é relacionado com as anomalias identificadas nas duas faces, como representado na evolução do encunhamento na figura 76.

Figura 76 – Sequência das falhas que fez com que o sentido da deformação alterada



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Indicando, assim, um giro da base de aplicação da carga sobre a parede, possivelmente pela a parede e o sistema de carga não estarem assimétricos, não invalidando os dados, pois certamente na prática ocorre com maior frequência.

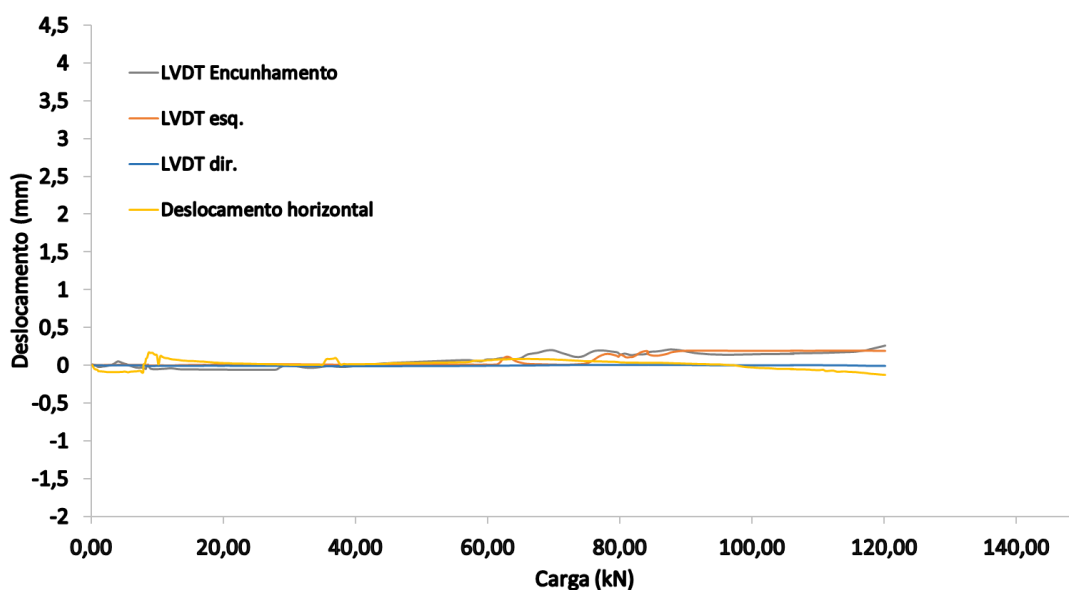
Os danos evidenciados estão descritos a seguir:

- Descolamento da argamassa de revestimento nas 2 interfaces, ao longo do topo da parede;
- Fissuras na região do encunhamento; surgiram as primeiras a 6kN e a 8,26kN, conforme o aumento da carga aplicada e foi ocorrendo a queda da argamassa de revestimento em toda região do encunhamento;
- Carga aplicada até 26,63kN, parou-se o ensaio por medida de segurança, devido ao aumento na flexão da parede.

4.2.4 Parede 4 - Encunhamento com argamassa 1:2:9 (P4E-a1:2:9)

Na figura 77 estão apresentados os resultados dos deslocamentos versus cargas aplicadas para a parede com argamassa de encunhamento com cal e traço de 1:2:9.

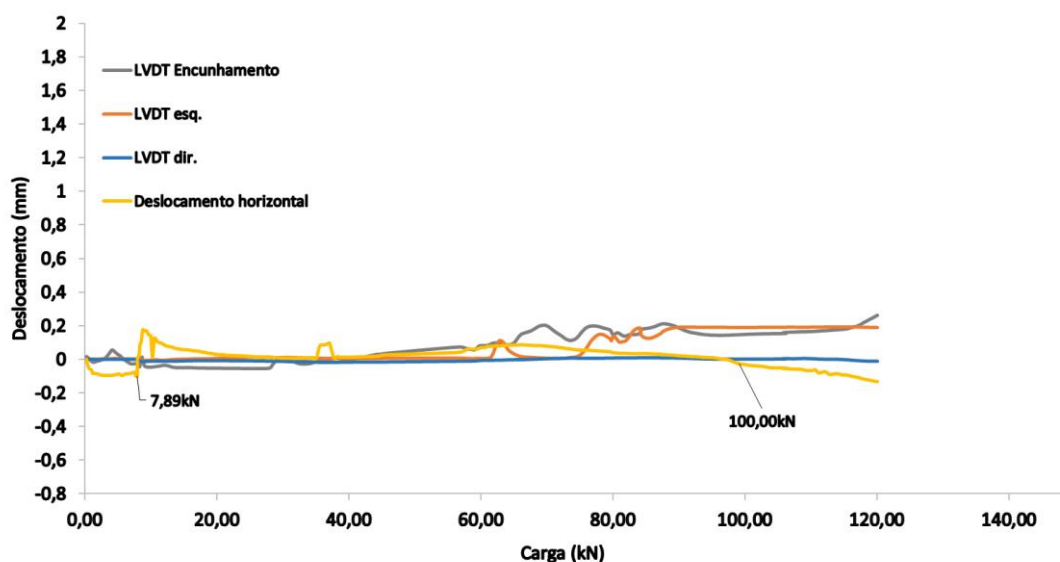
Figura 77 - Gráfico carga x deslocamento – P4 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:2:9



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A seguir, área ampliada do gráfico, facilitando a análise.

Figura 78 - Gráfico carga x deslocamento – P4 da amostra de encunhamento de argamassa traço 1:2:9 (detalhe)



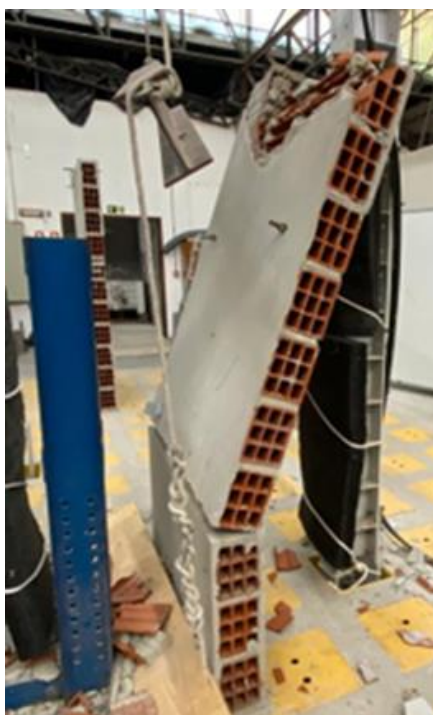
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observa-se na figura 78 que, as deformações em todos os pontos desta parede foram as mais variadas, porém, com menor intensidade, onde a máxima deformação medida foi de 0,26 mm. O primeiro estalo foi com a carga aplicada de 100kN, onde é possível evidenciar que, próximo a esta carga, a deformação horizontal da parede tem um ligeiro acréscimo.

O sistema apresentou ruptura com a carga de 123,5kN (figura 79), onde os danos evidenciados durante o ensaio estão descritos abaixo:

- Estalos a partir da carga aplicada de 100kN;
- Fissura e deslocamento da argamassa, na região do encunhamento a 122,5kN;
- Ruptura da parede, atingindo o limite de resistência de 123,5kN.

Figura 79 – Ruptura da P4E-1:2:9

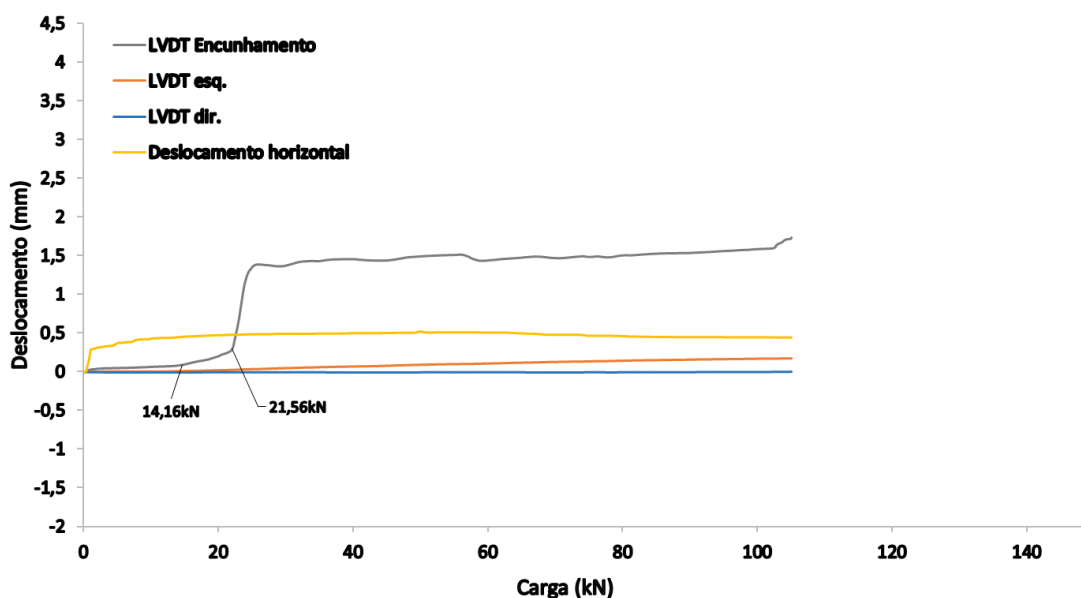


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.2.5 Parede 5 – Encunhamento com argamassa industrializada (P5E-ind)

A figura 80 apresenta os resultados de carga versus deslocamento do encunhamento e do sistema de vedação vertical com o encunhamento de argamassa industrializada.

Figura 80 - Gráfico carga x deslocamento – P5 da amostra de encunhamento de argamassa industrializada



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

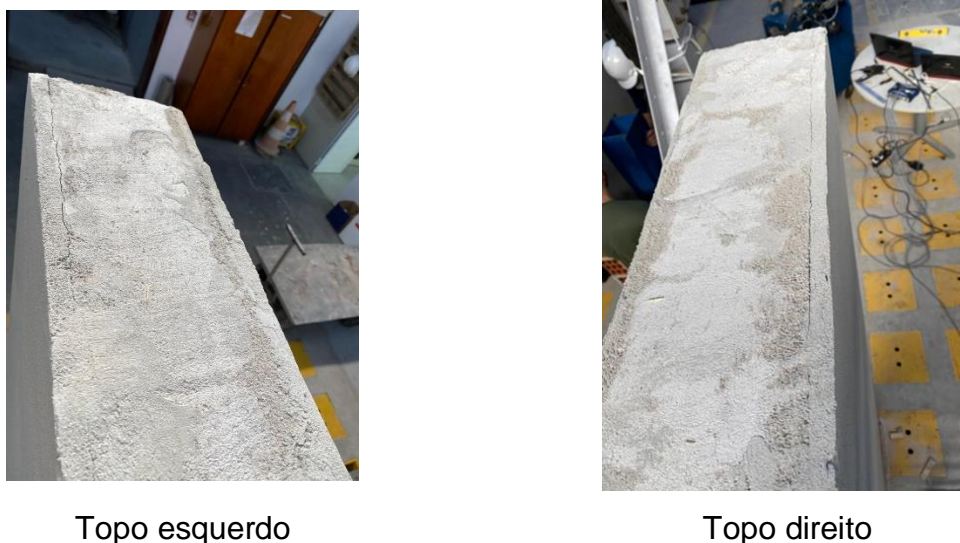
É possível verificar na figura 80 que o encunhamento absorveu as tensões impostas à parede e estabilizando suas deformações, devido ao baixo módulo de elasticidade de 5,50GPa. Até a carga axial aplicada de 14,16kN se manteve na linearidade, quando atingiu a carga de 21,56kN teve um aumento brusco de 1,13mm, atingindo a deformação máxima 1,79mm.

Observa-se, também, que há uma deformação horizontal no início da carga axial, se estabilizando logo após. Os danos evidenciados, durante e após o ensaio estão descritos a seguir:

- Fissura na região do encunhamento com a carga aplicada de 137,2kN;
- Estalos a partir da carga aplicada de 145kN;

Fissura entre as argamassas no topo da parede (figura 81) e argamassa de revestimento e bloco detectada após a retirada dos equipamentos.

Figura 81 – Fissuras no topo P5E-ind



Topo esquerdo

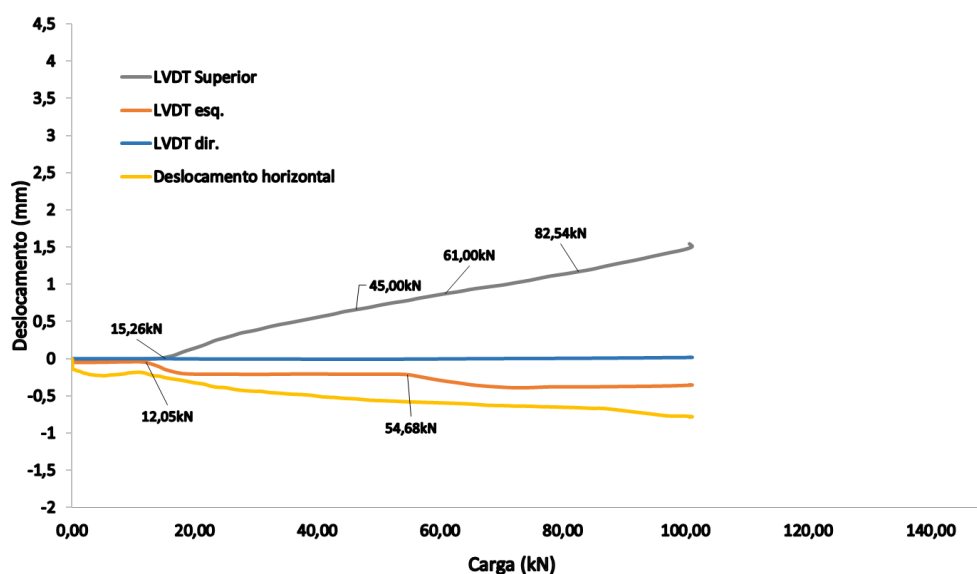
Topo direito

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.2.6 Parede 6 – Sem encunhamento (P6)

Na figura 82 estão apresentados os resultados de carga versus deslocamento da parede sem a execução do encunhamento. Na parede sem encunhamento “sem ligação entre a alvenaria e o sistema estrutural superior” as cargas e tensões são transferidas diretamente à parede, influenciando diretamente na deformabilidade e encurtamento da parede.

Figura 82 - Gráfico carga x deslocamento – P6 sem encunhamento



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

É possível verificar na figura 82 que as deformações de compressão no sistema iniciam com cargas próximas. A parede, ao iniciar o carregamento, sofre uma pequena deformação de compressão e tem um aumento na sua deformação com a carga de 12,05kN, evidenciado pelo dano, fissura na horizontal (figura 83) que, após estabilizou-se até o limite da carga 54,68kN. Porém, a deformação na parede foi evidenciada apenas em um lado, lado esquerdo.

Figura 83 – Fissura na horizontal P6



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O deslocamento horizontal, já no início do carregamento apresentou deformação, e teve um avanço progressivo, porém variado, na medida que a carga foi aumentando.

O LVDT direito se manteve estabilizado à sua deformação. Enquanto o LVDT superior foi aumentando, conforme a parede foi solicitada no carregamento, devido ao deslocamento da argamassa de revestimento, até atingir o seu limite, ocorrendo o dano, fissurou-se a 61kN e o bloco rompeu (figura 84), atingindo seu limite de 82,54kN.

Figura 84 – Ruptura no bloco na P6



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os danos referenciados após o ensaio estão descritos a seguir:

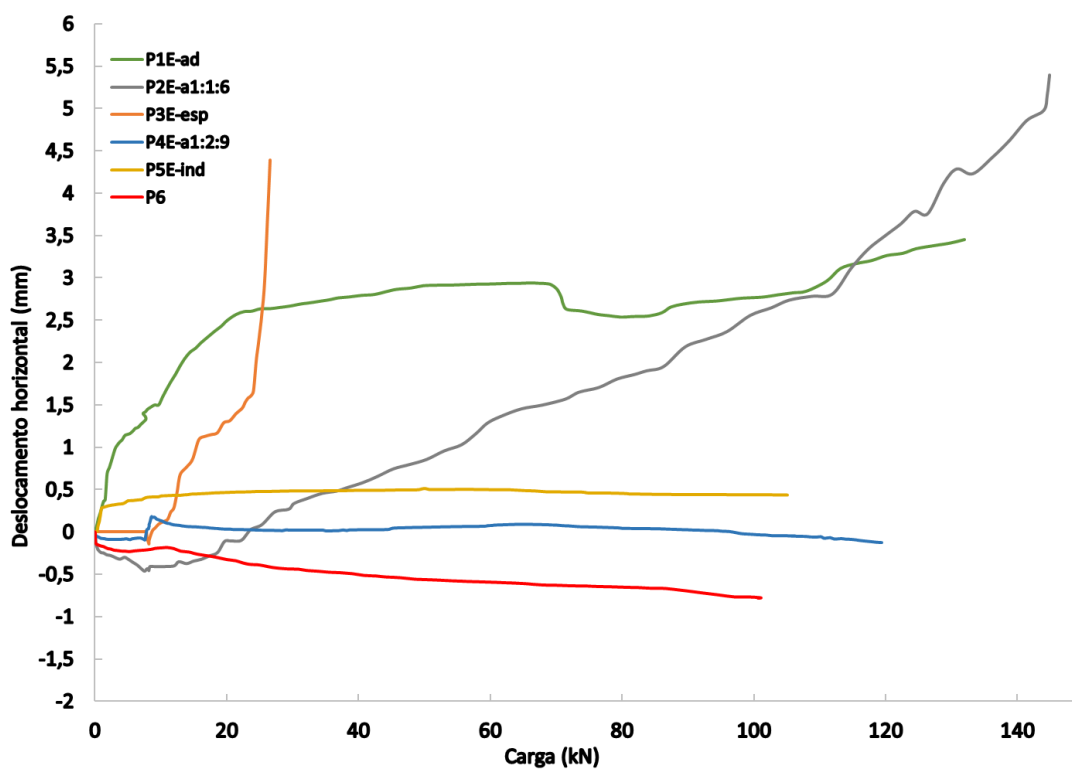
- Fissura da argamassa de revestimento em uma das interfaces, na parte superior do lado esquerdo, com queda de material;
- Fissuras, deslocamento da argamassa de revestimento na região do encunhamento, conforme o aumento da carga aplicada, foram progredindo até a ruptura do bloco a 82,54kN;
- Fissura na horizontal, da extremidade da parede até o centro, entre a junta de assentamento e o bloco da última fiada.

4.3 Análise comparativas das paredes ensaiadas

4.3.1 Deslocamento horizontal

A figura 85 apresenta os resultados individuais de carga versus deslocamento horizontal das paredes ensaiadas.

Figura 85 - Gráfico carga x deslocamento horizontal das amostras ensaiadas

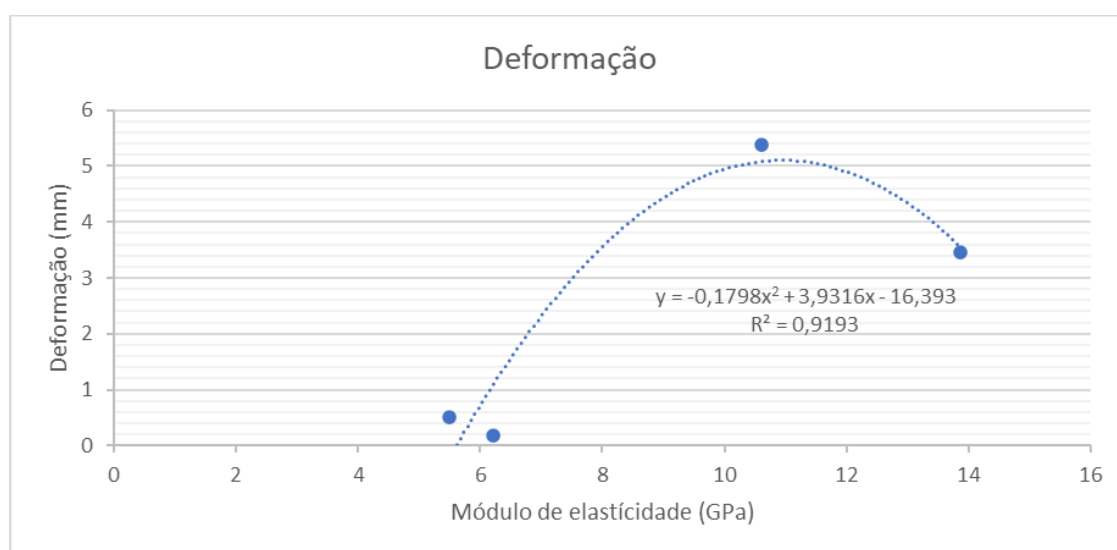


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

É possível verificar na figura 85 que a parede com menor deformação horizontal foi a parede P4E-a1:2:9, de 0,18mm, e a P5E-ind, de 0,52mm. A parede com maior deformação foi a P2E-a1:1:6 de 5,39mm. Porém, é importante analisar com qual carga esta deformação máxima foi alcançada.

Já para as outras, o instante em que as paredes são solicitadas ao carregamento, há o deslocamento horizontal, porém, as paredes com argamassa para encunhamento mais flexíveis, P4E-a1:2:9 e P5a-ind, estabilizaram a sua deformação, devido às argamassas serem resilientes. Enquanto em P1E-ad e P2E-a1:1:6 o encunhamento é de menor módulo de elasticidade, a deformação horizontal é contínua na medida que a carga aumenta. Na figura 86, o gráfico mostra que quanto mais rígido o encunhamento mais a parede se deforma.

Figura 86– Gráfico relação entre deformação horizontal x módulo de elasticidade das amostras ensaiadas

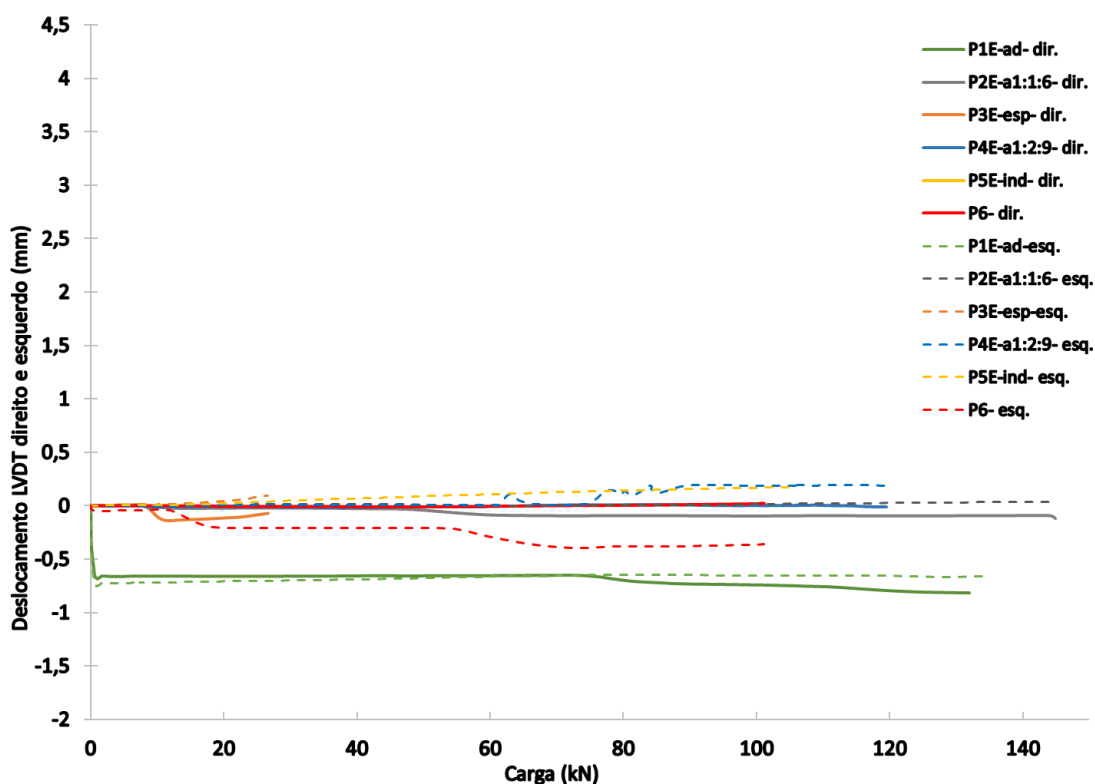


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.3.2 Deslocamento verticais – LVDT direito e esquerdo

A figura 87 apresenta os resultados de carga versus deslocamento verticais da parede, LVDT's direito e esquerdo.

Figura 87 – Gráfico carga x deslocamento vertical - LVDT direito e esquerdo



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

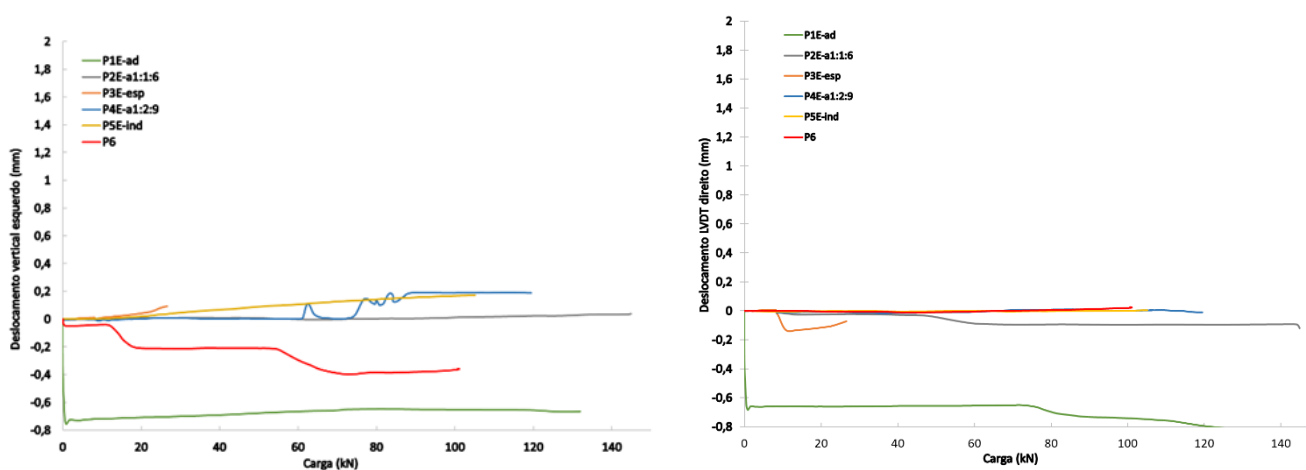
Na figura 87 é possível, assim, identificar que a parede que obteve maior distribuição das tensões foi a parede P1E-ad. No início, uma deformação elevada até a carga de 1,13kN, mostrou que as deformações são simultâneas, após, se mantendo comprimido e as deformações estabilizadas, chegando a uma deformação máxima de 0,82mm.

Também podemos observar que a P2E-a1:1:6 e a P5E-ind, foram as que menos se deformaram comparando os dois LVDT's. Sendo que na P2Ea-a1:1:6 do lado direito ocorreu uma pequena compressão, evidenciando um dano, o surgimento de uma fissura.

Pode-se notar que, a P3E-esp está sendo comprimida no lado direito, onde as tensões foram maiores. Já na P6 sem encunhamento e a P4E-a1:2:9, predominantemente, as tensões foram maiores no lado esquerdo, apesar da carga ser distribuída.

A figura 88 apresenta os resultados de carga versus deslocamento verticais da parede, individualizados dos LVDT's posicionados do lado esquerdo(a) e direito(b) da amostra.

Figura 88 – Gráficos carga x deslocamento vertical - LVDT esquerdo (a) e direito (b)



(a)

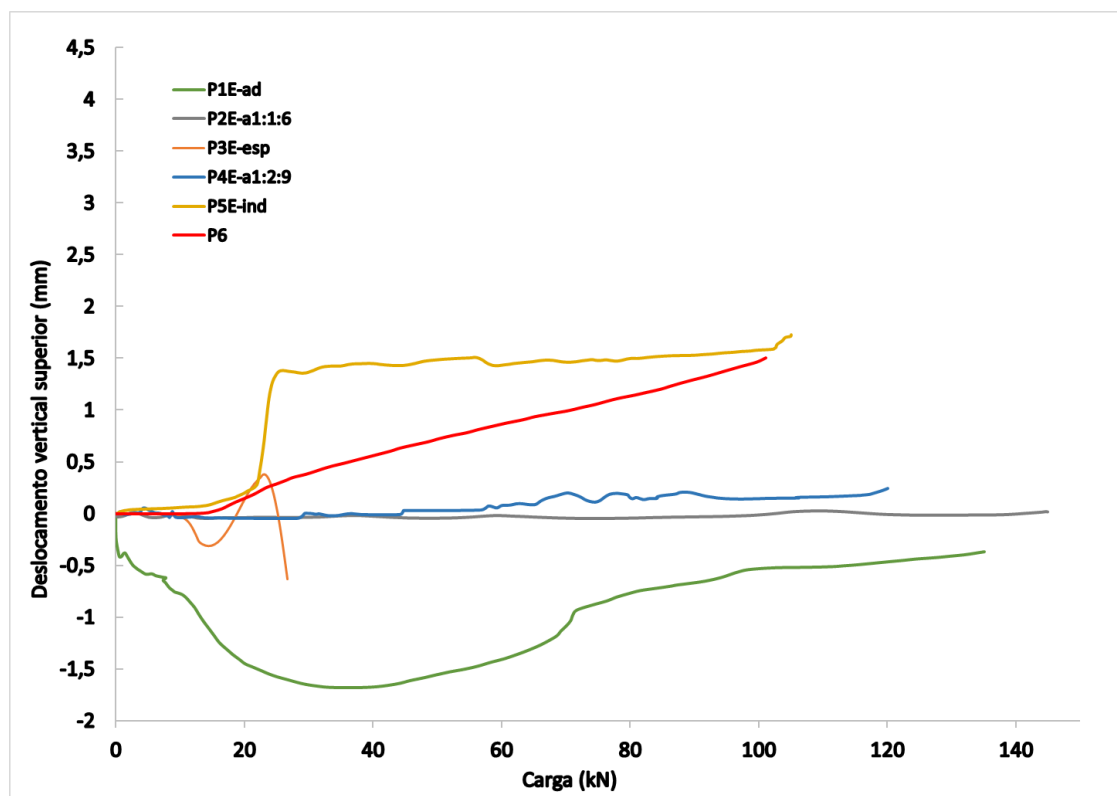
(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.3.3 Deslocamento vertical superior

Quanto à deformabilidade da parte superior da parede, verifica-se na figura 89 a deformação do LVDT superior de cada parede, portanto nas paredes denominadas P1, P2, P3, P4 e P5 há deformação do encunhamento e na parede P6, deformação do último bloco, já que não tem encunhamento.

Figura 89 – Gráfico carga x deslocamento vertical - LVDT superior



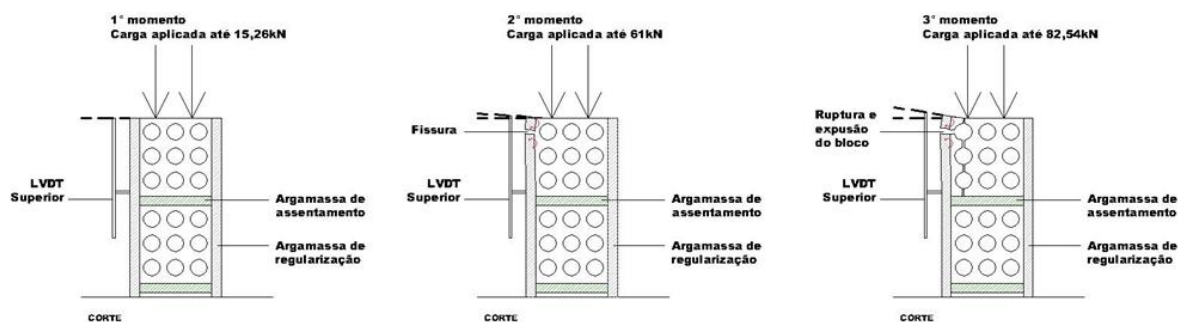
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

É possível verificar na figura 89 que, na parte superior da parede, obtiveram maior deformação as paredes P1E-ad e P5E-ind, porém, sofreram deformações diferentes. A argamassa industrializada (P5E-ind), sofreu a maior deformação, atingindo 1,79mm. A deformabilidade desta argamassa se evidencia pelo alto teor de ar incorporado, de 18%, e o módulo de elasticidade baixo.

Já a argamassa de encunhamento, com traço 1:1:6 (P2Ea-1:1:6), obteve menor deformação axial, de 0,16mm. Analisando a P2E-a1:1:6, a argamassa de encunhamento absorveu as tensões axiais na vertical, pouco se deformou, e isso refletiu diretamente na deformação horizontal da parede avaliada, onde apresentou o maior deslocamento horizontal.

Observa-se que, na figura 89, a P6 sem encunhamento, se manteve estabilizada até atingir o limite de carga axial de 15,26kN. Após isto, uma fissura foi criada, fazendo com que uma excentricidade na carga aplicada fosse gerada ao longo do seu comprimento. Devido a isso, a deformação do topo, registrada pelo LVDT, evoluiu após a formação da fissura. A figura 90 ilustra o que ocorreu com a amostra após a formação da fissura.

Figura 90 – Ilustração da formação das fissuras que ocasionou a ruptura do bloco



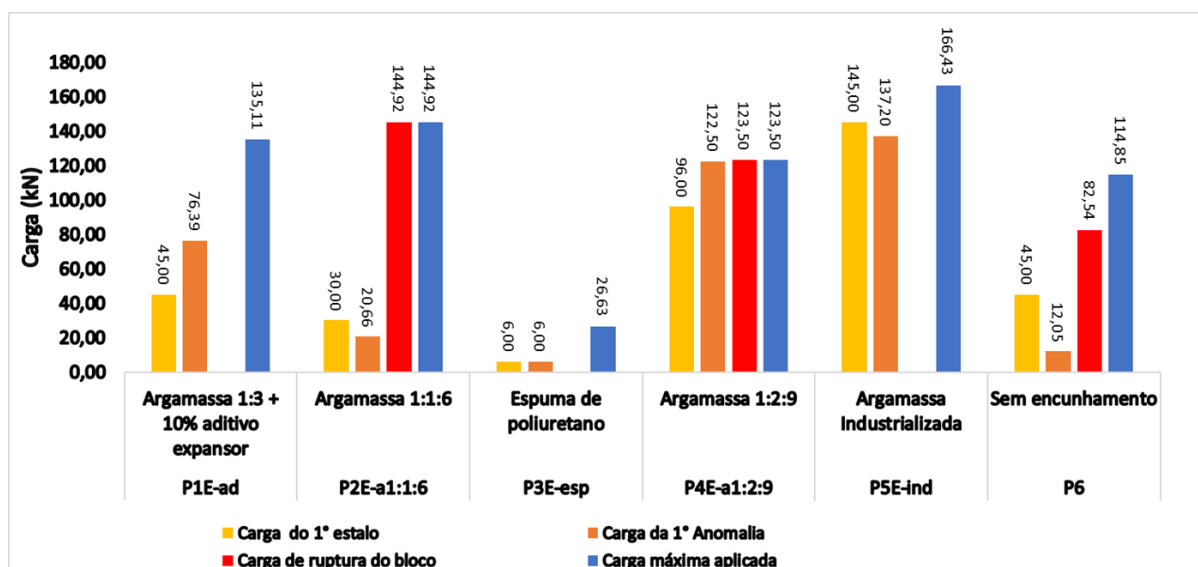
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observa-se a evolução do esmagamento do último bloco até a ruptura, devido a atuação da sobrecarga pela compressão axial transmitida para a parede, ocorrendo a ruptura por tração.

4.3.4 Danos das paredes submetidas a compressão axial

Todas as paredes evidenciaram anomalias durante os ensaios. Na figura 91 apresentam-se os resultados de carga máxima aplicada versus a primeira anomalia evidenciada.

Figura 91 – Gráfico carga aplicada x dano das amostras ensaiadas



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Nos ensaios realizados observou-se que as paredes apresentaram anomalias na argamassa de revestimento, sendo que P2Ea-1:1:6, P4Ea-1:2:9 e P6, romperam

com a última carga aplicada, nas demais foi finalizado o ensaio por medida de segurança.

Observa-se que as paredes P4Ea-1:2:9 e P5E-ind, com argamassas de encunhamento flexíveis apresentaram a primeira anomalia com mais de 120kN, sendo que na P4Ea-1:2:9 a anomalia e a ruptura ocorreram quase simultaneamente. E a P5-ind atingiu a maior carga aplicada, de 166,43kN.

Já a espuma de poliuretano, aplicada na P3E-esp, é altamente deformável, e apresentou a primeira anomalia rapidamente nas primeiras cargas aplicadas, ocorrendo o esmagamento da argamassa de revestimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a avaliação das propriedades mecânicas das argamassas de encunhamento analisadas e, também, a avaliação da aplicação de carga sobre as alvenarias com as diferentes argamassas de encunhamento, foi possível dividir as conclusões desta pesquisa conforme os resultados dos ensaios laboratoriais das argamassas para encunhamento e as suas considerações, dissertadas a seguir.

5.1 Conclusões diante da caracterização dos materiais

Com base nos resultados obtidos de resistência mecânica das argamassas e o módulo de elasticidade, foi possível concluir que, quanto menor a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e o módulo de elasticidade, mais resiliente é a argamassa, portanto mais deformável. Observou-se que as argamassas Ea-1:1:6, Ea-1:2:9 e E-ind, com traços contendo a cal, tiveram os resultados menores, de acordo com o esperado.

As argamassas Ea-1:2:9 e a E-ind, devido ao baixo módulo de elasticidade, classificadas como R1, podem ser especificadas como argamassa para encunhamento, sendo mais indicadas para estruturas que apresentam maiores deformações estruturais, sempre combinados com a flecha do elemento estrutural e a espessura ideal para execução.

Já a argamassa E-ad, mesmo com 10% de aditivo expensor, se mostrou rígida, devido ao alto teor de cimento na mistura, portanto, os resultados apresentaram maiores resistências e o módulo de elasticidade. Quanto ao ar incorporado, mostrou-se que os resultados maiores são das argamassas E-ind e E-ad, devido ao uso de aditivos incorporadores de ar, porém, obtiveram resultados distintos em relação à resistência e deformabilidade, podendo ser explicado que a argamassa E-ind apresentou maior percentual do índice de vazios e menor índice de consistência, sendo mais deformável e menos resistente.

5.2 Conclusões diante do tempo de execução do encunhamento

Referente às fissuras por encunhamento precoce, uma das causas é o recalque por retração das argamassas de assentamento, portanto, o tempo adequado para a

execução do encunhamento é um dos aspectos relevantes. Observou-se que as alturas das paredes executadas em 0, 12 e 28 dias, no qual 4 das 6 paredes sofreram maior abatimento entre os 12 e 28 dias, sendo 66% das paredes, porém as paredes P1 e P3 sofreram maior deformação de 3,8cm de abatimento, que ocorreu nos primeiros 12 dias. Já nas paredes P2, P4 e P5, os resultados de abatimento foram de 1,6cm, 1,5cm e 1,2cm.

Diante das medições realizadas nas paredes executadas para os ensaios de resistência à compressão e cisalhamento, podemos afirmar que quanto mais extensos os prazos para a execução do encunhamento, menor será a possibilidade de apresentar fissuras devido ao recalque por retração de secagem das argamassas de assentamento das alvenarias. Portanto é aconselhável que os prazos de execução do encunhamento sejam após 28 dias.

5.3 Conclusões do ensaio de compressão e cisalhamento das paredes

Todas as paredes apresentaram anomalias na região do encunhamento, a primeira anomalia apresentada com a menor carga aplicada foi a P3E-esp, que foi com 6kN, seguidas pelas paredes P6 com carga aplicada de 12,50kN e a P1E-ad com carga 45kN. Embora a P6 sem encunhamento, ocorreu a primeira anomalia na parte superior da argamassa de revestimento, portanto, o último bloco sofreu maior tensão até sua ruptura.

Analisando a parede com encunhamento de argamassa rígida (P1E-ad) e a parede sem encunhamento (P6), observou-se que os resultados da P6, em relação a deformabilidade foram inferiores e constantes na P1E-ad. Em ambas ocorreu a ruptura da parede, porém, a P1E-ad atingiu a carga de ruptura a 135,11kN, enquanto a P6 atingiu a carga de 82,54kN.

O uso da espuma de poliuretano (P3E-esp) no encunhamento, não foi eficiente, devido às suas propriedades de deformação impossibilitarem a continuidade do ensaio na carga aplicada de 26,66kN, por medidas de segurança.

Nas paredes com encunhamentos de argamassas flexíveis, P4Ea-1:2:9 e P5E-ind, ocorreu a primeira anomalia com 122,5kN e 137,2kN, respectivamente. Na P4Ea-1:2:9 a anomalia e a ruptura ocorreram quase simultaneamente.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios dos encunhamento, foi possível concluir que a P5-ind, executada com a argamassa com maior ar incorporado, se

deformou mais, atingindo 1,79mm de compressão, porém, foi a que apresentou o primeiro dano mais tardiamente à carga aplicada de 137,20kN e à carga máxima aplicada de 166,43kN.

Portanto, podemos concluir que os materiais estudados obtiveram comportamentos distintos, porém, as argamassas flexíveis obtiveram os melhores resultados e suas anomalias apresentadas com maiores cargas aplicadas.

A falta de critérios para materiais a serem utilizados no encunhamento, e conceitos básicos de caracterização do traço, vem determinando variações e características distintas, favorecendo o aparecimento das manifestações patológicas nas alvenarias de vedação. Associada a diversos traços e adições de materiais alternativos, devendo ainda a qualidade e quantidades dos insumos para a produção da argamassa.

Por fim, esta pesquisa reforça a necessidade de aprofundar os estudos da argamassa para encunhamento, com o intuito de minimizarmos as manifestações patológicas nesta região, carente de estudos, e a realização de uma Norma Brasileira específica.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13276. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** — Determinação do índice de consistência. Associação Brasileira de Normas Técnicas, [S. l.: s. n.], 2016. p. 2.
- ABNT. NBR 13278. **Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado [S. l.: s. n.], 2018. p. 4.
- ABNT. NBR 13279. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. [S. l.: s.n.], 2018. p. 9.
- ABNT. NBR 13281. **Argamassa para Assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Requisitos [S. l.: s. n.], 2018. p. 07.
- ABNT. NBR 15270-1. **Componentes cerâmicos blocos e tijolos para alvenaria - Parte1** Requisitos [S. l.: s. n.], 2017. p. 26.
- ABNT. NBR 15575-1. **Norma de desempenho** - Parte 1 - Requisitos Gerais. [S. l.: s. n.], 2021. p. 98.
- ABNT. NBR 15575-2. **Norma de desempenho** - Parte 2 - Requisitos para os sistemas estruturais. [S. l.: s. n.], 2021. p. 31.
- ABNT. NBR 15575-4. **Norma de desempenho** - Parte 4 - Sistema de vedação vertical interna e externa [S. l.: s. n.], 2021. p. 72.
- ABNT. NBR 15630. **Ultra-sônica, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda. [S. l.: s. n.], 2009. p. 4.
- ABNT. NBR 16868-3. **Alvenaria estrutural** - Parte 3 - Métodos de ensaio [S. l.: s. n.], 2020. p. 39.
- ABNT. NBR 16887. **Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco** - Método pressométrico Associação Brasileira de Normas Técnicas, [S. l.: s. n.], 2020. p. 18.
- ABNT. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, [S. l.: s. n.], 2014. p. 238.
- ABNT. NBR 8545. **Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos**. [S. l.: s. n.], 1984. p. 13.
- ABNT. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecido** - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica [S. l.: s. n.], 2009. p. 4.

AMADEI, D.I.B.; SOUZA, R.A.; PEREIRA, J.A.; MENEGUETTI, K.S. A Questão dos Resíduos de Construção Civil: Um Breve Estado da Arte. **Revista Nupem**, Campo Mourão, v. 3, p. 13, 2011. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/revista/index.php/nupem/article/viewFile/72/41>. Acesso em: 14 out. 2021.

CAPORRINO, C. F. **Patologia em alvenarias**. 2a Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

CRUZ, R.C.D.; PEROTTONI, C.A.; ZORZI, J.E.; OLIVEIRA, K.; FINKLER, M.; ECHEVERRIGARAY, S.G. Expansão por Umidade (EPU) em Blocos Cerâmicos. Boletim técnico, **Instituto de Materiais Cerâmicos**, [s.l.], p. 1–15, 2013. Disponível em: https://www.uces.br/site/midia/arquivos/projeto-expansao-por-umidade_2.pdf

DALDON, M. **Fatores que podem estar contribuindo para o aparecimento de manifestações patológicas na zona de encunhamento de paredes em obras de Porto Alegre**. 89 f. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/28541>

DORNELLES, V.P.; FRANÇA, R.; RONTANI, M.; GOMES, N.; SANCHEZ, P. Alerta! Deformações excessivas. **Téchne**, 97ed., [s. l.], 2005.

DUARTE, D.I.S. **O Desempenho Acústico dos Edifícios e os Pormenores Construtivos**. 2015. - Universidade de Coimbra - FCTUC, Coimbra, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/38632>

FERREIRA NETO, M.F.; BERTOLI, S. R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 169–180, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000400012>. Acesso em: 13 set. 2020.

FRANÇA, F.C.C. **Avaliação da aderência e resistência à flexão de vigas de concreto armado reparado com argamassa polimérica**. 226 f. 2017. - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, [s. l.], 2017.

FRANCO, Luiz Sérgio. Alvenaria. **Téchne** – 86ed., [s. l.], 2004. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/161/artigo285814-1.aspx>

FRIEDERICH, M.D.S.; DOS SANTOS, Y. T.F. Estudo da interface das estruturas de concreto armado entre viga/lajes e alvenaria de blocos cerâmicos. **Congresso Brasileiro de Patologias das Construções – CBPAT**, 2020, [s. l.], p. 2938–2946, 2020. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.283>

HENZ, Carla Louise. **Análise experimental de compatibilidade das argamassas de revestimento e encunhamento**. 85 f. 2009. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2009. Disponível em: [https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24086/000741735.pdf?sequence=](https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24086/000741735.pdf?sequence=1)

LABRES, H.S. **Influência de erros construtivos em alvenarias e de modificações de elementos de vedação de esquadrias no desempenho acústico das edificações**. 144 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo, 2017.

LABRES, H.S.; OLIVEIRA, M.F.; PACHECO, F.; OTT, M.J; TUTIKIAN, B.F. Influência de erros construtivos no desempenho acústico de paredes de alvenaria. **Congresso Brasileiro de Patologias das Construções - CBPAT 2020**, [s. l.], p. 2927–2937, 2020. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.282>

LIMA FILHO, R. C. **Estudo de argamassa deformável com foco na região do encunhamento**. 15 f. 2018a. - Centro Universitário de Brasília - UniCEUB/ICPD, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/12331>

LORDSLEEM JR., A.C. **Execução e inspeção de Alvenaria Racionalizada**. 1º Edição. São Paulo: O nome da Rosa, 2000.

LORDSLEEM JR., Alberto Casado Jr. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação**. 174 f. 1997. - escola Politécnica da Universidade de São Paulo, [s. l.], 1997. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/>

MADIA, Fernando César Alvarenga Rosa. **Estudo de pórticos preenchidos com alvenaria**. 142 f. 2012. - Universidade Federal de São Carlos, [s. l.], 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4673>

MAGALHÃES, E. F. **Fissuras Em Alvenarias: configurações típicas e levantamento de incidências no Estado Do Rio Grande Do Sul**. 180 f. 2004. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, [s. l.], 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10135/000521582.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MATEUS, Diogo M R; PEREIRA, Andreia S C. Influência de pequenos erros de execução em obra no desempenho acústico de edifícios - exemplos típicos. **Conferência - TecniAcustica** - Cáceres 2011, [s. l.], v. AED005, p. 1–8, 2011. Disponível em: http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Caceres11/Caceres11_AED005.pdf

MUCI, D.W.S.; NETTO, J.R.B.; SILVA, R.DE A.S. **Sistemas de recuperação de fissuras das interfaces alvenaria de vedação- estrutura de concreto: comparativo entre os processos executivos e análise de custo**. 98 f. 2014. - Universidade Federal de Goiás - UFG, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/>

NGI, Núcleo de Gestão e Inovação -. **Ensaio e avaliações técnicas requeridas pela ABNT NBR 15575** [S. l.: s. n.], 2018.

OLIVEIRA, J.L.F. **Avaliação do desempenho de argamassa de encunhamento industrializada e com aditivo expander**. 21 f. 2019. - UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, [s. l.], 2019.

OLIVEIRA, J.L.F. et al. Avaliação das propriedades mecânicas de argamassa para encunhamento para minimização das manifestações patológicas em SVVIE. **Congresso Brasileiro de Patologias das Construções - CBPAT 2020**, [s. l.], p. 1879–1890, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/cbpat.2020.183>

OLIVEIRA, J.L.F. et al. Estudo de manifestações patológicas em habitações unifamiliares de uma construtora na cidade de Tramandaí/RS. **XV Congresso Latinoamericano de Patología de Construcción y XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción**, [s. l.], v. 2, p. 15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.21041/CONPAT2019/V2PAT66>

PARSEKIAN, G.A. et al. Estudo teórico e experimental de paredes esbeltas de alvenaria estrutural. **Ambient. constr.**, [s. l.], v. 16, n. 04, p. 197–213, 2016. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000400114>

PEÑA, M. D.; FRANCO, L. S. Método Para Elaboração De Projetos Para Produção De Vedações Verticais Em Alvenaria. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 126–153, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.4237/gtp.v1i1.17>

PIÃO, Adriano; GODINHO, Luís; TADEU, António. Comportamento acústico de paredes de alvenaria , na presença de pequenas aberturas e diferentes inclusões. **Conferência - TecniAcustica - Coimbra 2008**, [s. l.], p. 12, 2008. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Coimbra08/id111.pdf>

RONTANI JÚNIOR, M. **Influência do deslocamento de vigas e lajes em paredes de vedação - Análise experimental** **Influência do deslocamento de vigas e lajes em paredes de vedação - Análise experimental**. 125 f. 2005. - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, [s. l.], 2005. Disponível em: http://cassiopea.ipt.br/teses/2005_HAB_Milton_Rontani_Junior.pdf

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**. 334 f. 1989. [s. l.], 1989. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/publico/FernandoHenriqueSabbatini_T.pdf

SANTOS, A.R. I. S. **Avaliação do Desempenho mecânico de Argamassas Térmicas em protótipos de parede**. 127 f. 2017. - Técnico Lisboa, [s. l.], 2017. Disponível em: <file:///J:/Unisinos - Mestrado/Dissertação/referências bilbiográficas/Avaliação do desempenho físico de argamassa termica en prototipo - Dissertação.pdf>

SENA, G.O.; NASCIMENTO, M.L.M.; NETO, A.C.N.; LIMA, N.M. **Patologia das construções**. Salvador: editora 2B, 2020.

SILVA, Diego Víctor Siqueira Reis e; PIRES SOBRINHO, Carlos Welington de Azevedo. Procedimento e tratamento para Evitar Fissuras nas Ligações entre Alvenaria e Estrutura de Concreto Armado - Um Estudo de Caso. **Revista de**

Engenharia e Pesquisa Aplicada, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.25286/repa.v3i1.274>

SILVA FILHO, L.C. Projeto e execução de obras para atender o critério de vida útil mínima de projeto – VUP - previsto na norma de desempenho para sistemas de alvenaria de blocos cerâmicos. In: , 2018, São Paulo. Seminário “**Desempenho de sistemas de alvenaria de blocos cerâmicos**”. São Paulo: [s. n.], 2018. p. 44.

SILVA, Margarete Maria de Araújo. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 167 f. 2003a. - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2004.tde-01032004-150128>

SILVA, Margarete Maria de Araújo. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. Dissertação (mestrado). [S. l.]: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - PCC USP, 2003b. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01032004-150128/pt-br.php%0Ahttp://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01032004-150128/>

SILVA, Narciso Gonçalves da; CAMPITELI, Vicente Coney. Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 42, p. 21–35, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/6386/4701>

SILVA, P.E.V.; MOREIRA, R.R. **Projeto de alvenaria de vedação - Diretrizes para elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR15575**. 79 f. 2017. - Universidade Federal de Goiás, [s. l.], 2017.

THOMAZ, E. **Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade das Construções**. São Paulo: Editora Pini, 2001.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios causas, prevenção e recuperação**. 2º Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios causas, prevenções e recuperação**. 1º edição. São Paulo: Editora PINI, 1989.

THOMAZ, E.;MEDEIROS, J.S.;FRANCO, L.S. Última Fiada- Planejamento da ligação à estrutura exige atenção à sequência se aplicação das sobrecargas na edificação. **Téchne** – 120ed., [s. l.], mar. 2007. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/120/artigo287425-1.aspx>

THOMAZ, E.;MITIDIERI FILHO, C.V.;CLETO, F.DA R.;CARDOSO, F.F. **Código de práticas nº1: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. IPTed. São Paulo: CIP - Dados Internacionais de Catalogação na Publicação, 2009. E-book.

APÊNDICE

Quadro 8 – Resumo dos dados coletados nos ensaios

(continua...)

	Encunhamento E-ind Argamassa Industrializada	Encunhamento E-ad Argamassa 1:3 + 10% aditivo expansor	Encunhamento E-a1:1:6 Argamassa 1:1:6	Encunhamento E-a1:2:9 Argamassa 1:2:9	Encunhamento E-esp Espuma expansiva de poliuretano	Sem encunhamento
Densidade da massa no estado fresco – kg/m ³	1.858	1.928	2.083	2.048	--	--
Índice de consistência - mm	247	306	298	283	--	--
Teor de ar incorporado %	18	7,5	3,2	3,4	--	--
Densidade de massa aparente – kg/m ³	1.948	1.685	1.940	1.718	42	--
Massa específica seca – kg/dm ³	1,64	1,76	1,89	1,86	--	--
Massa específica saturada – kg/dm ³	1,97	1,97	2,16	2,13	--	--
Massa específica real – kg/dm ³	2,45	2,23	2,59	2,54	--	--
Índice de vazios - %	33,12	21,05	26,80	26,74	--	--
Absorção de água por imersão - %	20,18	11,97	14,16	14,37	--	--
Módulo de elasticidade dinâmico - GPa	5,50	13,87	10,60	6,22	--	--
Resistência à tração na flexão - MPa	0,40	2,30	1,4	1,20	0,50	--
Resistência à compressão - MPa	1,11	5,25	4,64	3,34	--	--
Designação NBR 13281:2005	P2, M6, R1, D4	P4, M4, R3, D5	P4, M5, R2, D5	P3, M4, R1, D6	--	--
Encurtamento da parede - cm	1,20	3,80	1,60	1,50	3,80	0,70
Assentamento por retração de secagem da argamassa de assentamento - %	0,52	1,62	0,69	0,66	1,63	0,30

(conclusão)

	Encunhamento E-ind Argamassa Industrializada	Encunhamento E-ad Argamassa 1:3 + 10% aditivo expansor	Encunhamento E-a1:1:6 Argamassa 1:1:6	Encunhamento E-a1:2:9 Argamassa 1:2:9	Encunhamento E-esp Espuma expansiva de poliuretano	Sem encunhamento
Carga média aplicada do 1º estalo - kN	145,00	45,00	30,00	100,00	6,00	45,00
Carga média aplicada da 1ª Anomalia detectada - kN	137,20	76,39	20,66	122,50	6,00	12,50
Carga de ruptura blocos aparente - kN	Não até 166,43	Não até 135,11	144,92	123,50	Não até 26,66	82,54
Deslocamento máximo horizontal - mm	0,52	3,45	5,39	0,18	4,39	0,79
Encurtamento máximo LVDT esquerdo - mm	0,1717	0,7555	0,0396	0,1915	0,0964	0,3961
Encurtamento máximo LVDT direito - mm	0,0137	0,8228	0,1203	0,0179	0,1396	0,0244
Encurtamento máximo argamassa para encunhamento - mm	1,7860	1,6776	0,0157	0,2608	0,6313	1,5455*

*Resultado do encurtamento LVDT superior